



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# **TERVASSILLAN MONITOROINTISUUNNI- TELMA**

Mikko Ala-Hakuni

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017  
Rakennustekniikka  
Talonrakennustekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka  
Talorakennustekniikka

ALA-HAKUNI, MIKKO:  
Tervassillan monitorointisuunnitelma

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 17 sivua  
Toukokuu 2017

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Tampereen ammattikorkeakoululle osana puurakentamisen edistämisen yhteistyösopimusta, jossa on mukana Tampereen kaupunki, TTY, TAMK, Työ- ja elinkeinoministeriö ja Luonnonvarakeskus. Opinnäytetyössä tehtiin monitorointisuunnitelma Tampereella Vuoreksen kaupunginosassa sijaitsevalle Tervassillalle. Tervassilta on liimapuinen ulokepalkkisilta, jonka kansirakenne muodostuu yhteen naulatuista syrjälankuista. Monitorointi tuottaa numeerista tietoa rakenteen pitkäaikaisesta käyttäytymisestä todellisissa kuormitusolosuhteissa. Monitorointiprojektin tavoitteena on edistää puusiltarakentamista tutkimuksen keinoin. Työhön sisältyi myös etäluettavan mittausjärjestelmän asennus sillaan. Mittausjärjestelmään sisältyy kansipalkkien venymiä mittaavat venymäliuskat, puun absoluuttista kosteutta mittaavat piikkimittarit, sillan ympäristöolosuhteita mittaavat anturit ja kytkentäkaappi, johon sijoitettiin mittausjärjestelmän etäohjaukseen ja tiedonkeruuseen tarvittavat laitteet.

Monitorointia voidaan jakaa kolmeen tyyppiin: jatkuvaan, jaksottaiseen tai kertamonitorointiin. Tervassillassa jatkuvaa monitorointia on pääkannattajien venymien ja kosteuspiitoisuuksien sekä sillan olosuhteiden seuranta. Jaksottaista monitorointia on syrjälankkukannen kulumisen seuranta, sillalle tehtävät koekuormitukset ja sillan ylittävän liikenteen laskenta liikennemuodoittain. Kertamonitorointia ei tähän projektiin sisälly. Venymiä mitataan, jotta saadaan selville todellisista kuormista rakenteelle aiheutuvat taipumat ja venymien kautta räsitukset. Kosteuspitoisuuksia seuraamalla saadaan selville kosteuden vaikutus kantavuuteen ja rakenteiden muodonmuutoksiin. Syrjälankkukannesta seurataan keskimääräistä kulumaa, paikallista urautumaa ja kulumisen vaihtelua, joka tehdään 3D-laserskannaus tekniikalla. Koekuormituksilla selvitetään sillan käyttäytymistä ja kantavuutta. Tarkoituksena erityisesti kartoittaa muutoksia sillan kunnossa, muodonmuutoksissa ja kantokyvyssä. Arvioinnin apuna on laskennallinen analyysi. Monitoroinnista saadaan tuloksia vasta tulevaisuudessa, koska jatkuvan monitoroinnin on tarkoitus kestää useita vuosia ja jaksottaisen monitoroinnin tulosten käsittely tehdään vertailevana raportointina useamman tarkastelujakson jälkeen.

Tämän opinnäytetyön valmistuessa Tervassillan jatkuvaa monitorointia ei ole vielä käynnistetty. Toiseen liuskavahvistimeen liitettyjä venymäliuskoja ei ole saatu nollattua, että venymien mittaus alkaisi nolasta. Piikkimittarien kalibrointi on suoritettu väärin ja mittarit näyttävät liian pieniä absoluuttisia kosteuksia palkeille. Piikkimittarit täytyy ottaa irti ja lähettää uudelleen kalibroitavaksi. Jaksottaisen monitoroinnin syrjälankkukannen kulumisen seurannan lähtötilanteen 3D-laserskannausta ei ole suoritettu ja se tulisi suorittaa mahdollisimman pian. Muut jaksottaisen monitoroinnin mittaukset ovat hoidettu.

---

Asiasanat: monitorointisuunnitelma, puusilta, Tervassilta

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

ALA-HAKUNI, MIKKO:  
Monitoring Program of the Tervassilta Bridge

Bachelor's thesis 67 pages, appendices 17 pages  
May 2017

---

This bachelor's thesis was made for Tampere University of Applied Sciences as part of an agreement of cooperation to encourage timber construction. The agreement of cooperation is between City of Tampere, Tampere University of Technology, Tampere University of Applied Sciences, Ministry of Employment and the Economy and Natural Resources Institute Finland. In this bachelor's thesis, a monitoring program was produced for the Tervassilta bridge which is located in Vuores, Tampere. The Tervassilta bridge is a cantilever glulam beam bridge with a nail-laminated timber deck. The monitoring produces numerical information on structure's long-term behavior under real load conditions. The objective of this monitoring project is to promote timber bridge construction by the means of study. A part of this thesis was to build and install a remote-controllable monitoring system to the bridge. Monitoring system consists of strain cages, hygrometers, temperature sensors and a switch cabinet which has the equipment needed to remote control the system and for data logging.

Monitoring can be divided in to three types: continuous, cyclical and non-recurring. The strain and the moisture measurement of the main carrier beams and the circumstance measurement of the bridge are continuous monitoring. The monitoring of the detrition of the nail-laminated timber deck, the load testing of the bridge and the traffic counting are cyclical monitoring. This project did not contain non-recurring monitoring. Strains are measured to find out stresses in the structure from real loads. Moisture content of the structure gives information on how moisture effects the loadbearing capacity and the deformations of the structure. The average detrition, the local rutting and the variance of the detrition are followed from the nail-laminated deck. The detrition of the deck is measured by means of 3D-laser scanning. The load tests are used to find out the changes in behaviour and the loadbearing capacity of the bridge. Purpose especially is to find out changes in condition of the bridge, in deformations and in load bearing capacity. Calculated analysis is used to help in that evaluation. The monitoring gives results only in the future because the continuous monitoring is supposed to last for years and reports of the cyclical monitoring are made as comparative studies after several cycles.

At the time this thesis is completed the continuous monitoring is not running. Half of the strain cages are not working right and the hygrometers need to be recalibrated. The 3D-laser scanning of the deck has not been done so it needs to be done as soon as possible. Scanning gives the initial data of the deck which is needed to the comparative studies. Other cyclical monitoring measurements are done.

---

Key words: monitoring program, timber bridge, Tervassilta bridge

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PUU SILTOJEN RAKENNUSMATERIAALINA .....	8
2.1	Puusillat Suomessa .....	8
2.1.1	Tervassilta .....	9
2.2	Puun ominaisuudet sillanrakennusmateriaalina .....	13
3	SILTOJEN MONITOROINTI .....	15
3.1	Monitoroinnin tehtävät .....	15
3.2	Monitoroinnin sisältö .....	17
3.3	Monitoroinnin tavoitteet .....	19
4	TERVASSILLAN MITTAUSJÄRJESTELMÄ .....	20
4.1	Etäluettavat mittaussuureet .....	20
4.1.1	Venymien mittaussuureet .....	23
4.1.2	Kosteuden seuranta .....	28
4.1.3	Mitta-antureiden sijainti .....	30
4.2	Kohteessa tehtävät mittaukset.....	33
4.2.1	Syrjälankkukannen kulumisen seuranta.....	34
4.2.2	Koekuormitukset.....	35
4.2.3	Liikenteen selvitys .....	37
5	TERVASSILLAN MONITOROINTISUUNNITELMA.....	38
5.1	Mittauksen kohteet.....	38
5.2	Mitattavien suureiden jaottelu .....	38
5.2.1	Jatkuva monitorointi .....	39
5.2.2	Jaksottainen monitorointi .....	39
5.3	Mittauksen ajallinen vaiheistus.....	42
5.4	Mittaukseen tarvittava työryhmä ja resurssit .....	43
5.5	Monitoroinnin raportointi .....	44
5.6	Monitorointiprojektin tilanne työn valmistuessa .....	45
6	POHDINTA.....	46
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET .....	51
	Liite 1. Venymän ja taipuman yhteys.....	51
	Liite 2. Viitteellinen toteutussuunnitelma .....	54
	Liite 3. Mittalaitteisto .....	56
	Liite 4. Mitta-antureiden sijainnit.....	63
	Liite 5. Tervassillan piirustuksia .....	65

**LYHENTEET JA TERMIT**

BIM	Building Information Model, rakennuksen tietomalli
CSV	Comma-separated values, tekstitiedostomuotoon tallennettu taulukkomuotoinen tieto
FEM	Finite Element Method, elementtimenetelmä
FS	Full Scale, tarkkuus näytteenottoalueella
HI-STAR	Liikennelaskentakortti, joka rekisteröi ylittäneestä ajoneuvosta sen pituuden, ajonopeuden ja ylitysjankohdan
Kloropreenikumi	Neopreeni, synteettinen kumimateriaali
KVL	Vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne
LAM	Liikenteen automaattinen mittausasema
SBR	Styreenibutadeenikumi, synteettinen kumilaji
SFTP	SSH File Transfer Protocol, protokolla, jonka avulla tiedostoja voidaan käsitellä SSH-protokolla yli
SSH	Secure Shell, salattuun tietoliikenteeseen käytetty protokolla
WIM	Weight in Motion, liikkuvan ajoneuvon painon mitta
XLSX	Oletusarvon mukainen Office Excel 2007 -XML-pohjainen tiedostomuoto
XML	Extensible Markup Language, rakenteellinen kuvauskieli, joka auttaa jäsentämään laajoja tietomassoja selkeämmin

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä luodaan monitorointisuunnitelma Tampereella Vuoreksen kaupunginosassa sijaitsevalle puiselle Tervassillalle. Työssä tutustutaan Liikenneviraston monitorointiohjeisiin, joiden pohjalta suunnitellaan pitkäaikaisen tutkimuksen sisältö ja toteutus. Työhön sisältyy myös etäluettavan mittausjärjestelmän asentaminen siltaan ja sen testaaminen.

Mittausjärjestelmään sisältyy palkkeihin asennettavien venymäliuskojen asentaminen sillan neljään pääkannattajaan ja sillan rakenteisiin asennettavat piikkimittarit, jotka seuraavat sillan kosteuspitoisuuksia. Edellä mainitut kuuluvat etäluettavaan mittausjärjestelmään. Monitorointisuunnitelmaan sisällytetään myös koekuormitusten ohjelmointi ja syrjälankkukannen kulumisen seuranta, joka toteutetaan laserkeilauksella. Venymäliuskat mittaavat pystykuormien aiheuttamia sillan pääkannattajien venymiä. Sillan vaakasuuntaisten liikkeiden seuranta ei ole tarpeen, johtuen sillan rakenteesta.

Tässä monitoroinnissa liikennettä sillan yli ei seurata jatkuvasti, vaikka liikennekuormat ovat pienissä ja keskisuurissa silloissa sillan merkittävin kuormitus. Liikenteen määrää arvioidaan tekemällä yksittäisiä liikenteen määrän laskentoja tyypeittäin, vuorokauden liikenteellisesti vilkkaimman tunnin aikana. Tarkkaa tietoa liikenteestä saataisiin LAM- tai WIM-järjestelmillä tai HI-STAR –liikennelaskentalaitteella. Olennaisimpia tietoja liikenteestä olisivat ajoneuvojen määrä (KVL), ajoneuvojen paino, nopeus, akselien lukumäärä ja akselivälit ja ajolinjat (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 13). Syrjälankkukannen kulumisessa liikenteen määrällä ja sen koostumuksella on suuri merkitys. Sillan yli kulkevan liikenteen koostumus muuttuu kevyemmäksi, kun asuinalue Tervassillan Harjanteen puolella valmistuu ja työmaaliikenne loppuu.

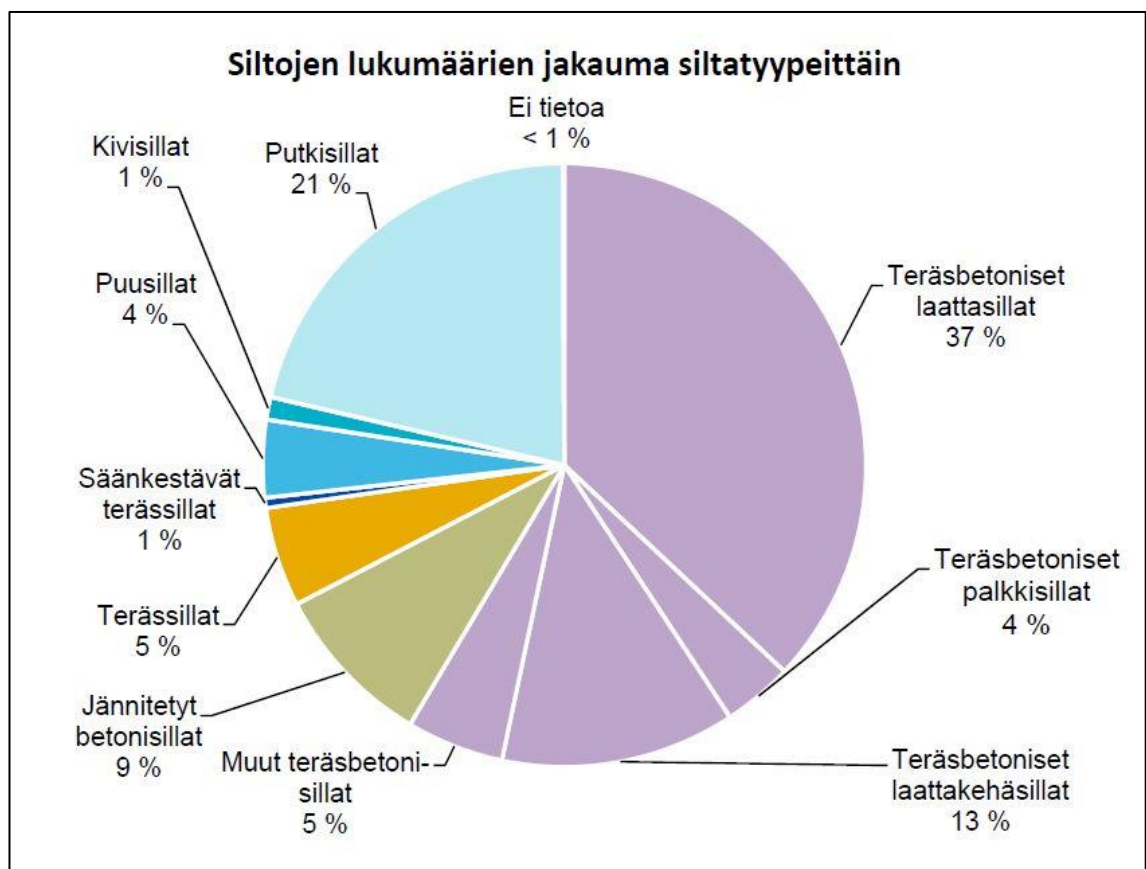
Tervassilta liittyy puurakentamisen yhteistyösopimukseen, jonka Tampereen kaupunki on solminut Tampereen teknillisen yliopiston, työ- ja elinkeinoministeriön, Tampereen ammattikorkeakoulun ja Luonnonvarakeskuksen kanssa. Sopimuksen osapuolten yhteisenä tavoitteena on kehittää puun arvostusta kansallisena, kilpailukykyisenä, kestäväenä tulevaisuuden rakennusmateriaalina. Erityisesti tavoitteena on puurakentamisen kehittäminen vähähiilisyteen tähtäävässä energia- ja resurssitehokkaassa rakentamisessa (Vuores, Tutkimus- ja kehityshankkeet 2014).

Monitoroinnin tarkoitus on tuottaa numeerista tietoa rakenteen todellisesta käyttäytymisestä. Monitoroinnilla tuotetaan tietoa, jota voidaan hyödyntää myöhemmin sillan kantavuuden, käyttöiän, käyttömukavuuden ja vaurioiden määrittämisessä sekä suunnitteluratkaisuja arvioitaessa. Monitorointi voidaan jakaa sillan kuntoon liittyvään monitorointiin sekä sillan kantavuuteen liittyvään monitorointiin. (Siltojen monitorointiohje 2016, 9). Tässä opinnäytetyössä venymien mittaus, kosteuspitoisuuden seuranta ja syrjälankkukanen kulumisen seuranta ovat kuntoon liittyvää monitorointia, ja kuormituskokeet kuuluvat kantavuuteen liittyvään monitorointiin. Venymien mittaus on osittain myös kantavuuteen liittyvää monitorointia, sillä venymistä saadaan selville taipumat ja taipumat korreloivat osin myös kantokykyyn.

## 2 PUU SILTOJEN RAKENNUSMATERIAALINA

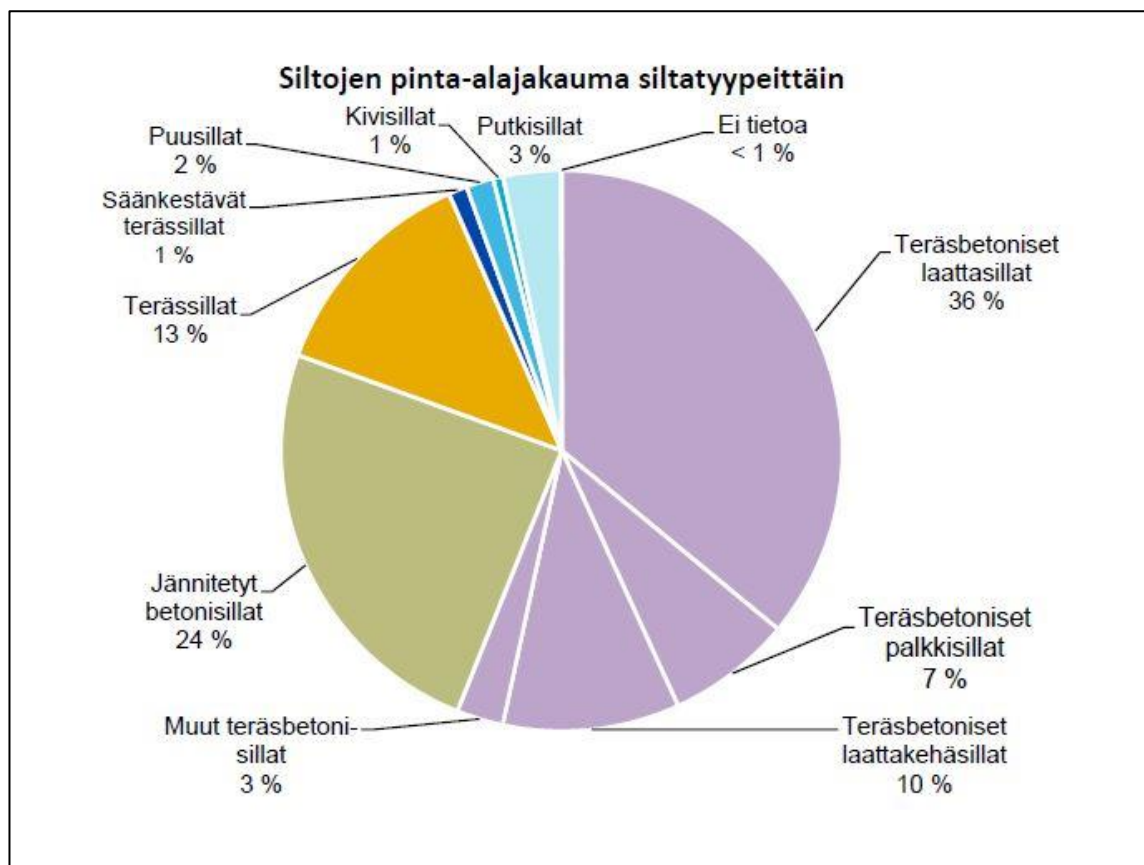
### 2.1 Puusillat Suomessa

Puusilloja on Suomessa rakennettu pitkin historiaa, mutta niiden tilastoiminen on aloitettu 1900-luvun alusta. Eniten niitä rakennettiin 1970-80 luvuilla, jolloin rakennettiin yli 50 prosenttia Suomen nykyisistä Liikenneviraston hallinnoimien väylien puusilloista (Liikenneviraston sillat 2016, 39). Liikenneviraston ylläpitämällä väylillä puusiltojen lukumäärällinen osuus Suomen siltakannasta on pieni, vain neljä prosenttia (Kuvio 1) ja pinta-alan osuus on vielä pienempi, kaksi prosenttia (Kuvio 2). Tästä voidaan päätellä, että puusta rakennettavat sillat ovat lyhyempiä ja leveydeltään kapeampia kuin muista materiaaleista rakennettavat sillat. Liikenneviraston tilastot sisältävät myös niiden hallinnoimien kevyen liikenteen väylien sillat. Yhteensä Suomessa on arviolta 900 puurakenteista siltaa (Puuinfo, Puusillat). Suurehko osa Suomen puusilloista on yksityisteillä, joista ei ole Liikenneviraston tilastoissa tietoa.



Kuvio 1. Siltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin (Liikenneviraston sillat 2016, 29)





Kuvio 2. Siltojen pinta-alajakauma siltatyypeittäin (Liikenneviraston sillat 2016, 29)

Vuosina 2010-2014 Suomeen rakennettiin 584 siltaa, joista puurakenteisia oli vain 17. Suomen puusiltojen rakentaminen voitaisiin yli kymmenkertaistaa, esimerkiksi Ruotsissa ja Norjassa puusiltojen rakentaminen on huomattavasti yleisempää. Ruotsissa noin 20 prosenttia ja Norjassa noin 10 prosenttia työn kirjoitushetkellä vuosittain rakennettavista silloista on puurakenteisia (Puuinfo, Puusillat).

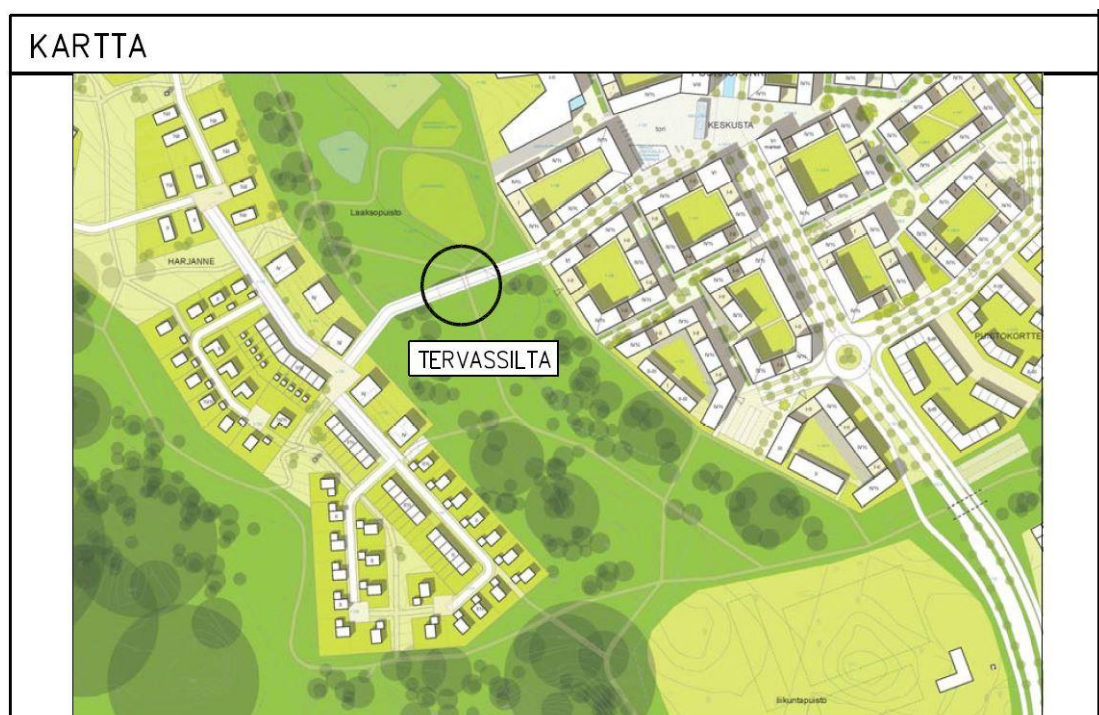
### 2.1.1 Tervassilta

Tervassilta (kuva 1) sijaitsee Vuoreksen kaupunginosan Isokuusen alakeskuksessa, joka sijaitsee Vuoreksen pohjoisosassa Särkijärven ja Vuoreskeskuksen välissä (Vuores, Isokuusi, 2015). Silta yhdistää Isokuusen keskustan ja läntisen Harjanteen osan (kuva 2). Se on avattu liikenteelle kesällä 2015. Silta toimii ainoana kulkuyhteytenä Harjanteelle, jonka arvioitu asukasmäärä valmiina on noin 650 (Tampereen kaupunki, kaava nro 8466 2013, 5). Sen on suunnitellut Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy ja rakennuttanut Tampereen kaupunki. Sillan ylittää kaksi ajoneuvoliikenteen kaistaa ja yksi kevyen liikenteen kaista. Sillan kevyen liikenteen kaista on hieman korkeammalla kuin ajoneuvoliikenteen

kaistat. Kaava-alueelle johtavan tien vuoden 2030 ennustettu KVL on 500 ajoneuvoa, josta raskaan liikenteen osuuden on arvioitu olevan 1 % (Meluselvitys asemakaavaa varten 2013, 5).

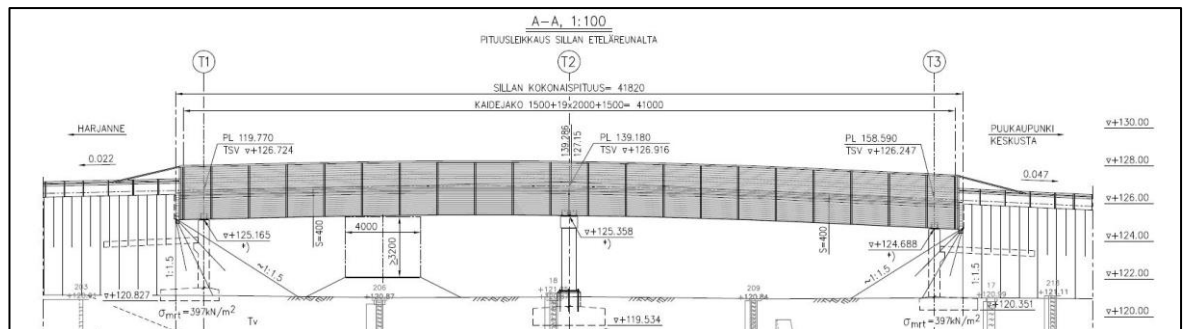


*Kuva 1. Tervassilta tammikuussa 2017*



*KUVA 2. Tervassillan sijainti (ote Tervassillan yleispiirustuksesta 2014)*

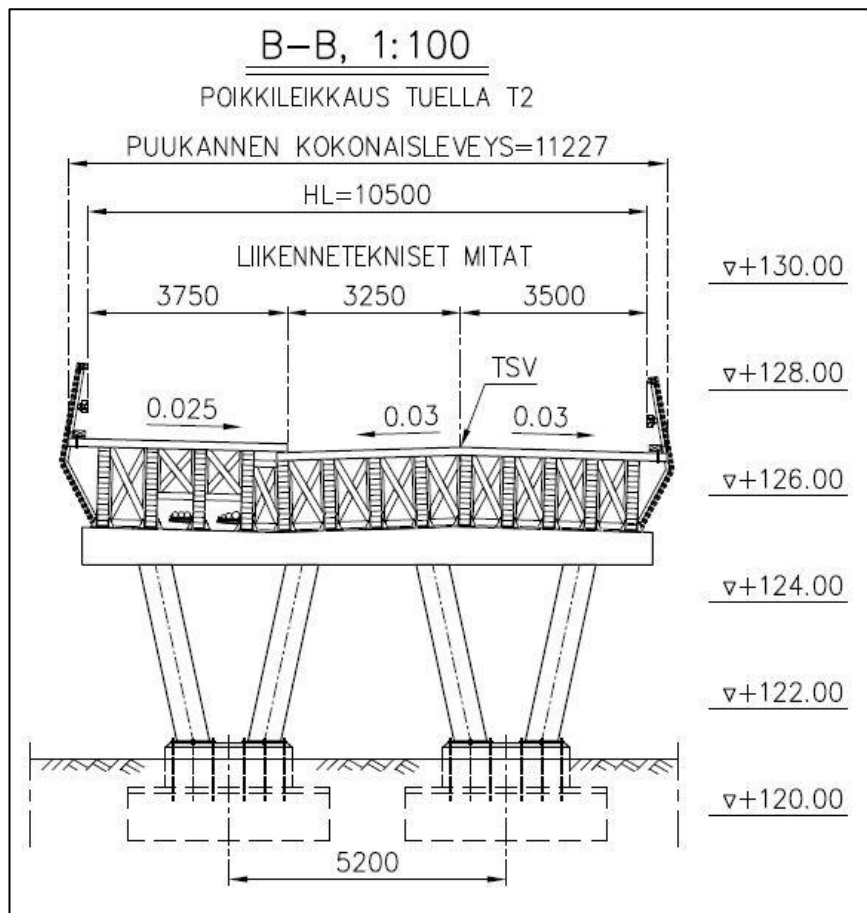
Tervassilta on liimapuinen ulokepalkkisilta (kuva 3), sen päämitat on esitetty taulukossa 1, sillan tärkeimpiä piirustuksia on liitteessä 4. Sillan pääkannattajina toimivat yksiaukoiset liimapuupalkit, joita on yhteensä 26 kappaletta, 13 kappaletta tukien T1 ja T2 sekä tukien T2 ja T3 välillä. Kevyenliikenteenväylän alla pääkannattajat ovat korkeampia kuin muualla, näitä korkeampia liimapuupalkkeja on yhteensä 8 kappaletta. Kaikki liimapuupalkit ovat ennakkokokohotettuja. Sillan kansirakenne muodostuu päällystämättömistä yhteen naulatuista poikkisuuntaisista syrjälankuista. Sillan välituki on liimapuupilareista ja -palkista koostuva kehä (kuva 4). Sillan päädyissä päätypalkit on toteutettu yhteen naulatuista sahatavaralankuista. Ainoastaan sillan maatuot ja välituen antura ovat teräsbetonirakenteisia. Jokaisella tuella sillan pääkannattajien alla on joko SBR- tai kloropreenikumi, joka toimii laakerina. Koska varsinaisia kiinteitä laakereita ei ole sillan pituussuuntaiset vaakakuormat välittyvät sillan pääkannattajilta päätypalkkien välityksellä penkereille.



KUVA 3. Tervassillan pituusleikkaus (ote Tervassillan yleispiirustuksesta 2014)

Taulukko 1. Tervassillan päämitat (Tervassillan yleispiirustus 2014).

Kokonaispituus	41,800 m
Hyötyleveys	10,500 m
Jännemitat	(1,500+) 19,410+19,410 (+1,500) m



KUVA 4. Poikkileikkaus tuelta T2 (ote Tervassillan yleispiirustuksesta 2014)

Pääkannattajien ja sillan välituen materiaalina on lujuusluokan GL32h liimapuu, missä *h* tarkoittaa, että liimapuun kaikki lamellit kuuluvat samaan lujuusluokkaan (Liimapuukäsikirja Osa 1 2015, 22). Sillan kannessa, päätypalkeissa ja muissa puuosissa on käytetty sahatavaraa C30. Sillan puuosat ovat suola- ja painekyllästettyjä luokkaan A eli kestämään maa- tai vesikosketusta (RT 21-11094 2012, 2).

## 2.2 Puun ominaisuudet sillanrakennusmateriaalina

Nykyisin puusiltojen päämateriaalina on liimapuu. Puun hyviä ominaisuuksia sillanrakennusmateriaalina ovat sen lujuuden ja painon välinen suhde (verrattuna esimerkiksi teräkseen tai betoniin), korkea esivalmistusaste, yksinkertainen asennusprosessi (verrattuna betonisiltoihin) ja ekologisuus (Heinänen 2014, 32-33). Liimapuuratkaisuilla saavutetaan sahatavaraa suurempi lujuus, kun puun viat (käytännössä oksien kohdat) hajautetaan isompaan tilavuuteen. Liimapuu on painoonsa verrattuna yksi vahvimpia rakennusaineita (Liimapuukäsikirja Osa 1 2015, 7). Puusillat pystytään valmistamaan pitkälle tehtaalla, varsinkin tyyppisiltojen esivalmistusaste on korkea, joka nopeuttaa asennustyötä. Puu on uusiutuva ja kotimainen materiaali, joka sitoo ilman hiilidioksidia (Puuinfo, Puusillat). Lisäksi käytöstä poistettu puutavara, myös painekyllästetty, voidaan hyödyntää polttamalla se energiaksi, kyllästetyn puun käsittelyyn erikoistuneissa polttolaitoksissa (Hyvä tietää kestopuusta 2010, 4).

Puu on hygroskooppinen aine eli se on vettä imevä aine. Huokoisen aineen kuten puun kosteus voidaan mitata absoluuttisena tai suhteellisena kosteutena. Suhteellinen kosteus riippuu ilman lämpötilasta, toisin kuin absoluuttinen kosteus. Absoluuttinen kosteus kertoo materiaalin sisältämän veden painon suhteen materiaalin kuivapainoon. Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan materiaalin huokosissa olevan ilman suhteellista kosteutta tasapainotilassa (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 38). Puun kosteuspitoisuudella tarkoitetaan puun absoluuttista kosteutta. Puu alkaa vaurioitua, jos sen absoluuttinen kosteus pysyy pitkiä aikoja yli 20 prosentissa. Puun kosteusvaurioita ovat lahoaminen ja homehtuminen (Gustafsson, Pousette & Björngrim 2010, 217). Homehtuminen ei etene puun pintaa syvemmälle, joten se ei vaikuta puun lujuusominaisuuksiin. Lahoamisen etenemistä vastaan puu paine- ja suolakyllästetään (Puuinfo, Kosteusteknisiä ominaisuuksia).

Puun heikkouksia sillanrakennusmateriaalina ovat sen pitkäaikaiskestävyys, lämpötila- ja kosteusvaihtelusta johtuvat muodonmuutokset sekä viruma, mutta virumaa esiintyy myös betonilla (Heinänen 2014, 33-36). Puusillat suunnitellaan kestämaan eurokoodien mukaan lähtökohtaisesti 50 vuotta, yksittäisten rakenneosien suunniteltu käyttöikä voi olla pienempi, esimerkiksi syrjälankkukannen käyttöikä on yleensä 25 vuotta (NCCI 5 2013, 10-11). Puusiltojen suunnittelukäyttöikä on pienempi kuin esimerkiksi betonisiltojen, joilla se on 50-100 vuotta rakenteesta riippuen (NCCI 2 2014, 27-32). Tämä vaikuttaa kokonaistaloudellisuuteen, kun valitaan sillanrakennusmateriaalia.

Puusiltarakentamiseen vaikuttaa myös asioita, jotka eivät varsinaisesti johdu puun huonoista ominaisuuksista materiaalina. Puusiltarakentamisen suurena haasteena ovat suurimpien kaupunkien virkamiehet, jotka tekevät kaupunkien päätöksiä siltahankinnoista (Rechardt 2014, 68-69). Puun käyttöä sillanrakennusmateriaalina haittaa myös yleiset ennakkoasenteet ja tietämättömyys puusiltojen teknisistä ratkaisusta (Heinänen 2014, 37). Toisin sanoen puu mielletään huonommaksi sillan rakennusmateriaaliksi kuin mitä se todellisuudessa on.

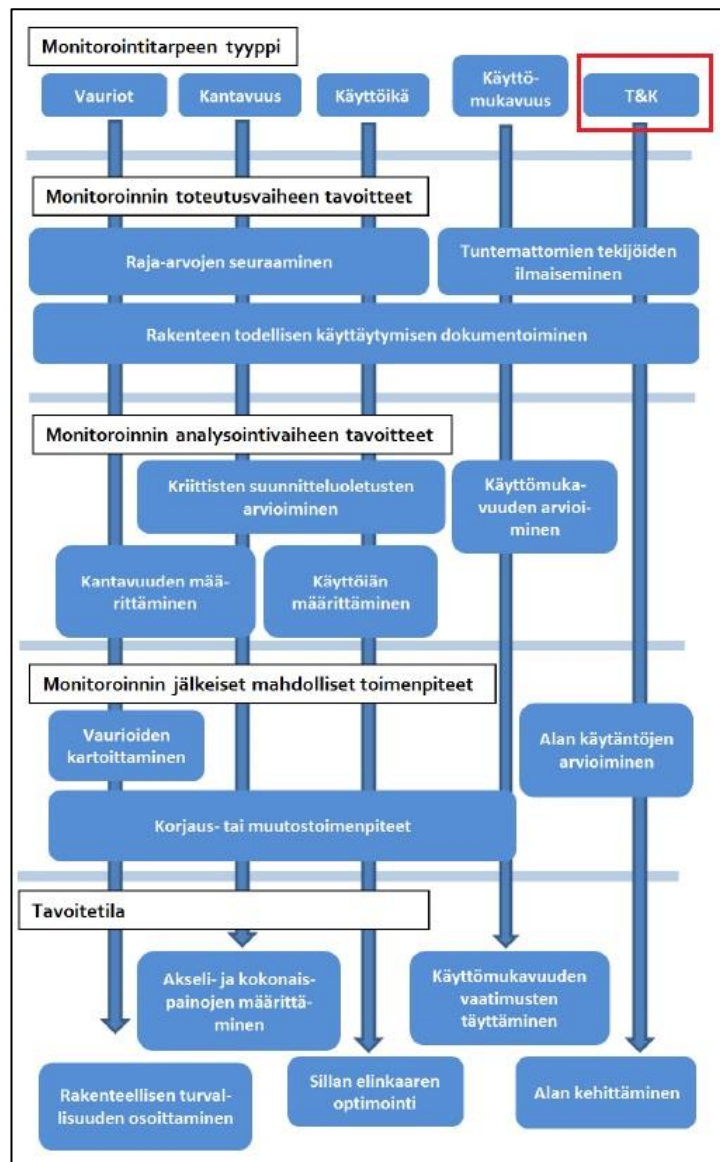
### 3 SILTOJEN MONITOROINTI

#### 3.1 Monitoroinnin tehtävät

Monitoroinnilla seurataan rakenteen lyhyt- ja pitkäaikaista tilaa, kuntoa ja toimintaa, käyttäen automaattisia mittaus- ja analysointilaitteita. Sillan monitoroinnin tarkoitus on antaa tarkkaa ja pitkäaikaista mittaustietoa sillan käyttäytymisestä, rasituksista ja turmel-  
tumisesta. Mitattu ja analysoitu tieto pyritään tallentamaan systemaattisesti tietokantaan  
niin, että se voidaan lukea sieltä myöhemmin, vaikka ohjelmistot muuttuisivat. Monito-  
rointitehtävän tavoitteet voivat olla erilaiset rakenteen omistajalle, rakenteen ylläpidosta  
huolehtiville, rakenteen käyttäjälle ja rakenteen korjaamisesta tai uuden rakenteen suun-  
nittelusta ja rakentamisesta vastaaville osapuolille (Siltojen monitorointikäsikirja 2016,  
7).

Siltojen monitoroinnin pitää olla systemaattista toimintaa ja se pitää tehdä annettujen oh-  
jeiden mukaan. Monitoroinnin sisältö perustuu monitorointitarpeeseen. Monitorointitarve  
syntyy, kun sillan nykyisin käytettävissä olevilla tiedoilla ei voida saavuttaa haluttua ta-  
voitetilaa (kuva 5). Eli esimerkiksi, jos sillan rakenteellista turvallisuutta ei voida osoittaa  
laskennallisesti ilman monitorointia. Monitorointitarve voi perustua sillan vaurioihin,  
kantavuuteen, käyttöikään, käyttömukavuuteen tai alan kehittämiseen (T&K) (Siltojen  
monitorointiohje 2016, 11). Jos monitorointi liittyy kantavuus- tai käyttöikä tarkasteluun,  
on monitoroinnin pääsuunnittelijalla oltava monitoroitavan siltatyypin osalta suunnittelu-  
luokan mukainen suunnittelupätevyys tai muu tilaajan hyväksymä osaaminen (Siltojen  
monitorointiohje 2016, 22). Monitorointitarve voi esiintyä jo ennen sillan rakentamista,  
mutta usein se syntyy rakentamisen jälkeen sillan käytön aikana (Siltojen monitoroin-  
tiohje 2016, 11). Tervassillan tapauksessa on kyse alan kehittämisestä ja monitorointi-  
tarve ilmeni ennen sillan rakentamista.

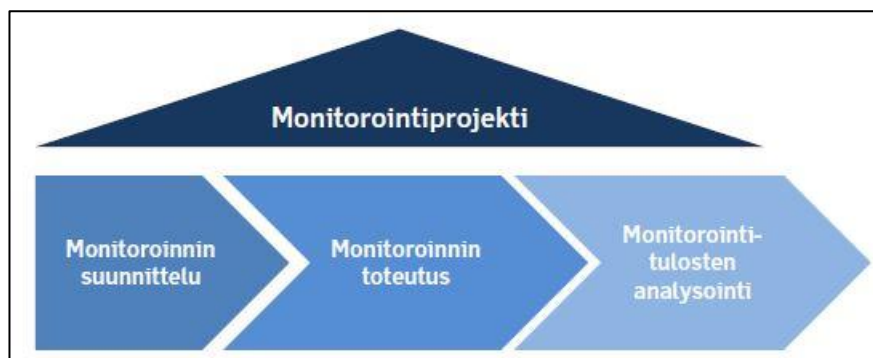




KUVA 5. Monitorointitarpeen mukaiset tavoitteet (Siltojen monitorointiohje 2016, 13)

Monitorointitarve on lähtökohta monitorointisuunnitelmalle. Monitorointiprojektin pitää tuottaa tarpeeksi uutta tietoa siten, että monitoroinnin tavoite saavutetaan kustannustehokkaasti. Oikean tiedon keräämiseksi monitoroinnille määritetään toteutus- ja analysointivaiheen (kuva 6) tavoitteet, joilla saavutetaan tavoitetila. Monitoroinnin tavoitteiden määrittämisellä pyritään myös vähentämään tarpeetonta monitorointia. Monitoroinnin toteutus- ja analysointivaiheen tavoitteet määritellään monitorointisuunnitelman alussa ja ne asetetaan niin, että ne ovat saavutettavissa (Siltojen monitorointiohje 2016, 11).





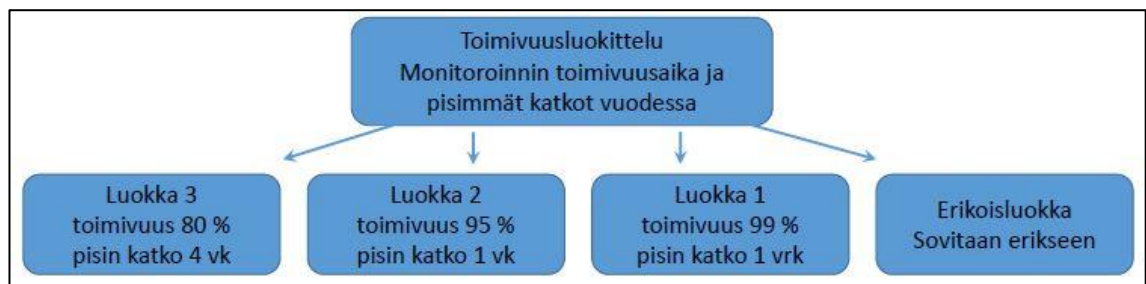
KUVA 6. Monitorointiprojektin osa-alueet (Siltojen monitorointiohje 2016, 11)

### 3.2 Monitoroinnin sisältö

Monitoroinnin keston ja jaksotuksen määrittää monitorointimenetelmä. Monitorointimenetelmiä on kolme, *jatkuva*, *jaksottainen* ja *kertamonitorointi*. Monitorointimenetelmä ei suoraan kerro monitoroinnin laajuudesta. Monitorointimenetelmän valinta vaikuttaa mittalaitteiden ja -anturien asentamiseen, monitoroinnin toteutusmuotoon ja sen kustannuksiin (Siltojen monitorointiohje 2016, 14). Monitorointimenetelmän valinta riippuu monitorointitarpeesta, tavoitetilasta, monitoroinnin kustannuksista sekä saatujen tulosten käytökelpoisuudesta. Yhdessä monitorointiprojektissa voidaan käyttää useita monitorointimenetelmiä parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi (Siltojen monitorointiohje 2016, 15).

Jatkuva monitorointi voi kestää useita vuosia ja siinä mittalaitteet asennetaan rakenteisiin usein pysyvästi. Jatkuva monitorointi tuottaa eniten tietoa ja on usein kustannuksiltaan kallein. Jatkuvässä monitoroinnissa täytyy kiinnittää huomiota antureiden ja mittalaitteiden pitkäaikaiskestävyyteen, huolto- ja kalibrointimahdollisuuksiin. Jaksottaisen monitoroinnin mitattavan jakson kesto ja jaksojen väli voi olla lyhyt tai pitkä, joka voi kestää vuosia. Jaksojen väli voi olla säännöllinen tai epäsäännöllinen ja jaksojen välillä siltaa voidaan korjata tai muuttaa. Jaksoittaisessa monitoroinnissa pitää kiinnittää huomiota mittausjärjestelyn toistattavuuteen ja antureiden mahdolliseen uudelleenasettamiseen. Kertamonitorointi on vain yhden jakson mittaista monitorointia. Kertamonitorointi muuttuu jaksottaiseksi monitoroinniksi, jos mittaus toistetaan myöhemmin. Toisin kuin jatkuvalla ja jaksoittaisella monitoroinnilla, kertamonitoroinnilla ei pystytä tuottamaan tietoa ajasta riippuvista suureista (Siltojen monitorointiohje 2016, 15).

Jatkuvalle monitoroinnille on määritettävä myös toimivuusluokka (kuva 7), eli mikä osa ajasta monitoroinnin on toimittava ja tuotettava mittaustuloksia. Lisäksi voidaan määrittää pisin mahdollinen mittauskatko. Toimivuusluokkia on kolme ja lisäksi on erikoisluokka, missä kokonaistoimivuus ja pisin katkoaika sovitaan erikseen. Kun on päätetty kuka järjestää sillalle sähkönsyötön ja verkkoyhteyden, on päätettävä, otetaanko sähköverkon ja tietoliikenneverkon mahdolliset katkot mukaan kokonaistoimivuutta laskettaessa (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 20). Toimivuusluokkaa valittaessa on myös huomioitava laitteiston huollettavuus ja laitteistolle pääsy.



Kuva 7. Jatkuvan monitoroinnin toimivuusluokat ja pisin katkoaika (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 20)

Monitoroinnin suunnitteluun, toteuttamiseen ja tulosten analysointiin käytettyjä resursseja kuvaa monitoroinnin laajuus. Se sisältää käytetyn monitorointitekniikan, mittalaitteiden lukumäärän ja tulosten analysoinnin. Monitorointiprojektilla on kolme eri laajuutta: suppea, laaja ja erikoislaaja. Monitoroinnin laajuuden valinta vaikuttaa erityisesti mittauspisteiden ja mittaustekniikoiden määrään. Laajuuden valinnassa arvioidaan monitoroinnilla tuotetun tiedon määrää ja luotettavuutta suhteessa monitoroinnin kustannuksiin (Siltojen monitorointiohje 2016, 18).

Monitorointiprojektiin tehdään tyypillisesti seuraavat asiakirjat:

- monitorointisuunnitelma
- toteutussuunnitelma
- turvallisuussuunnitelma
- mittausraportti
- monitorointiraportti.

Kuka tekee minkäkin asiakirjan, määräytyy monitoroinnin toteutusmuodon mukaan (Siltojen monitorointiohje, 2016, 27).

Sillan analysointi voidaan tehdä monitorointitulosten jälkeen käyttäen sillasta laadittua rakennemallia, joko FEM-mallia tai muuta yksinkertaisempaa mallia. FEM-mallia muodostettaessa pyritään käyttämään hyväksi sillan tietomallia (BIM) tai vastaavaa mallia (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 63). Lujuustekninen analyysi esitetään monitorointiprojektista tehtävässä raportissa. (Siltojen monitorointiohje 2016, 32). Ennen monitorointia rakennemallilla tehdyn analysoinnin avulla saataisiin määritettyä monitoroinnissa tarvittavien antureiden lukumäärät, tyypit ja sijainnit. Antureilta saatavia tuloksia verrataan kantavuuslaskennasta saatuihin tuloksiin (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 23). Lujuusteknisen analysoinnin perusteella voidaan sillasta tehdä turmeltumismalli esimerkiksi lahoamisen osalta (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 63).

### **3.3 Monitoroinnin tavoitteet**

Tämän monitorointiprojektin tilaajan määrittämä tavoite on alan kehittäminen (T&K). Monitoroinnin toteutusvaiheen tavoitteena on rakenteen todellisen käyttäytymisen dokumentointi (Siltojen monitorointiohje 2016, 13). Analysointivaiheen tavoite on tuottaa tutkimustietoa syrjälankkukannella varustetun puusillan pitkäaikaisesta käyttäytymisestä. Käyttäytymisestä halutaan selvittää sillan pitkäaikaisia muodonmuutoksia todellisista kuormista ja koekuormituksista ja syrjälankkukannan pitkäaikaiskestävyyttä mekaanista kulutusta vastaan. Analysointivaiheen tavoitteen taustalla on puusiltarakentamisen kehittäminen ja puun käytön kasvattaminen siltarakentamisessa Suomessa.

## 4 TERVASSILLAN MITTAUSJÄRJESTELMÄ

### 4.1 Etäluettavat mittaussuureet

Etäluettavia mittaussuureita ovat neljän pääkannattajan suhteelliset venymät, sillan pääkannattajien ja mahdollisesti kannen kosteuspitoisuudet sekä ilman ja sillan kytkentäkaapin lämpötila ja suhteellinen kosteus. Venymäliuskoilla saatavat venymät ja kosteusantureilla saatavat kosteuspitoisuudet saadaan siirrettyä sillalta suoraan tietokantaan. Mittausjärjestelmään on asennettu laitteet, jotka siirtävät mittausdataa internet-yhteyttä käyttäen datapalvelimelle. Yhteyden toimivuus varmistetaan ulkoisilla antennilla, jotka tuodaan mittausjärjestelmää varten tehdyn kytkentäkaapin ulkopuolelle. Etäluettavilla mittaussuureilla ongelmaksi voi muodostua mahdolliset sähkökatkot sekä muut ennalta arvaamattomat mittausjärjestelmän katkoajat, jolloin mittausdataa ei saada sillalta.

KytKentäkaapin (kuva 8) tietokoneen etähallinta suoritetaan TeamViewer-ohjelmistolla, joka mahdollistaa esimerkiksi työpöydän jakamisen, videopuhelut, tiedonsiirron sekä paljon muita etähallinta-ominaisuuksia (Perälä & Penttilä 2016, 23). Tässä projektissa hyödynnetään ainoastaan työpöydän jakamista, jolla pystytään muuttamaan etänä mittaussasetuksia ja diagnosoimaan mahdollisia ongelmia. KytKentäkaapissa on mittaustietokone, venymäliuskojen liuskavahvistimet, 4G-modeemi sekä kosteusmittareiden dataloggeri ja virtalähde. KytKentäkaappi sijoitetaan palkkien väliin sillan pohjoisreunalle lähelle tukea T3.



*Kuva 8. Tervassillan kytkentäkaappi (2017)*

Mittauksissa käytettävät anturit, niiden sijainnit, mitattavat suureet ja mittalaitteiden tarkkuudet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Antureiden sijainnit, mittaussuureet ja tarkkuudet (Envic Oy &amp; Kyowa)

Anturityyppi	Asennuspaikka	Mitattava suure ja yksikkö	Tarkkuus
Venymäliuska 1	Palkki 12 alareuna	Venymä [ $\mu m/m$ ]	0,6 % * FS
Venymäliuska 2	Palkki 12 yläreuna	Venymä [ $\mu m/m$ ]	0,6 % * FS
Venymäliuska 3	Palkki 7 alareuna	Venymä [ $\mu m/m$ ]	0,6 % * FS
Venymäliuska 4	Palkki 7 yläreuna	Venymä [ $\mu m/m$ ]	0,6 % * FS
Venymäliuska 5	Palkki 6 alareuna	Venymä [ $\mu m/m$ ]	0,6 % * FS
Venymäliuska 6	Palkki 6 yläreuna	Venymä [ $\mu m/m$ ]	0,6 % * FS
Venymäliuska 7	Palkki 2 yläreuna	Venymä [ $\mu m/m$ ]	0,6 % * FS
Venymäliuska 8	Palkki 2 alareuna	Venymä [ $\mu m/m$ ]	0,6 % * FS
Piikkimittari 1 (65505 CH1)	Palkki 9 yläreuna	Absoluuttinen kosteus [%]	$\pm 2\%$
Piikkimittari 2 (65505 CH2)	Palkki 9 alareuna	Absoluuttinen kosteus [%]	$\pm 2\%$
Piikkimittari 3 (65506 CH1)	Palkki 10 yläreuna	Absoluuttinen kosteus [%]	$\pm 2\%$
Piikkimittari 4 (65506 CH1)	Palkki 10 alareuna	Absoluuttinen kosteus [%]	$\pm 2\%$
Piikkimittari 5 (65511 CH1)	Palkki 12 yläreuna	Absoluuttinen kosteus [%]	$\pm 2\%$
Piikkimittari 6 (65511 CH2)	Palkki 12 alareuna	Absoluuttinen kosteus [%]	$\pm 2\%$
Piikkimittari 7 (65512 CH1)	Kannen päällä	Absoluuttinen kosteus [%]	$\pm 2\%$
Piikkimittari 8 (65512 CH2)	Kannen päällä	Absoluuttinen kosteus [%]	$\pm 2\%$
Kosteus/lämpötila-anturi (65514)	Ulkoilma sillan kannen alla	Suhteellinen kosteus [%] / Lämpötila [ $^{\circ}C$ ]	Kosteus: $\pm 2\%$ Lämpötila: $\pm 0,2^{\circ}C$
Kosteus/lämpötila-anturi (65519)	Kytkenäkaapin sisällä	Suhteellinen kosteus [%] / Lämpötila [ $^{\circ}C$ ]	Kosteus: $\pm 2\%$ Lämpötila: $\pm 0,2^{\circ}C$

Venymäliuskojen tarkkuudet kertovat tarkkuuden käytetyn mittausalueen mukaan. Näin laskettu mittalaitteen tarkkuus ei riipu mittaustuloksesta. Esimerkiksi jos käytetään laitteen mittausaluetta  $10\,000\ \mu\text{m}/\text{m}$  saadaan mittausrvirhe laskettua kaavalla 1.

$$\Delta\varepsilon = \pm 0,06\ \% * FS \quad (1)$$

$$\Rightarrow \Delta\varepsilon = \pm 0,006 * 10\,000\ \mu\text{m}/\text{m} = \pm 60\ \mu\text{m}/\text{m}.$$

Yksittäiset anturit ja tiedonkeruulaitteistot on jo valittu kaupallisista ja hyväksytyistä vaihtoehtoista ja laitteiden tiedot löytyvät liitteestä 2.

#### 4.1.1 Venymien mittaus

Venymien mittausjärjestelmään kuuluvat venymäliuskat, anturisoittimet, keskusyksikkö ja mobiililaajakaistareititin. Venymäliuskat kytketään kahteen PCD-400A anturisoittimeen. Anturisoittimet on kytketty keskusyksikköön, joka on Advantechin UNO-2174G teollisuuskäyttöön tarkoitettu tietokone. Keskusyksikkö yhdistetään tavallisella mobiililaajakaistareitittimellä internetiin.

Venymiä mittaamalla saadaan selville myös rakenteessa oleva taivutusjännitys. Se voidaan laskea kimmoteorian mukaisesti Hooken lain avulla, kaavalla 2 (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 28).

$$\sigma = \varepsilon * E = \frac{\Delta L}{L} * E \quad (2)$$

$\sigma$  = Normaalijännitys venymän suunnassa

$\varepsilon$  = Suhteellinen venymä

$E$  = Materiaalin kimmomoduuli

Kaava 2 kertoo jännityksen venymäliuskan kohdalla, ei siis rakenteessa esiintyvää suurinta taivutusjännitystä

Tervassillan venymien mittaus tapahtuu Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd:n venymäliuskoilla, jotka ovat vastusvenymäliuskoja. Venymäliuskat ovat mallia KFG-30-120-C1-11N1M2, mallin tunniste on selvennetty taulukossa 3. Liuskat ovat lämpötilakompensoituja välillä 10 – 100°C, eli lämpötilasta aiheutuva venymä ei näy virheenä mittaustuloksissa (Strain cages 2011, 30). Venymäliuskat asennettiin hiottuun ja puhdistettuun pintaan liimaamalla, juuri tarkoitukseen valmistetulla liimalla ja liuskat päällystettiin kosteudelta suojaavilla aineilla. Venymäliuskojen liimaamiseen käytettiin KYOWA:n CC-33a –pikaliimaa ja pikaliiman pohjusteena käytettiin tavallista kaksikomponentti epoksiliimaa. Liuskojen päälle laitettiin KYOWA:n KE-4898W pinnoitetta, jonka päälle laitettiin Sikaflex®-11 FC+ -elastista massaa.

*Taulukko 3. Venymäliuskojen mallin selitys (Strain cages 2011, 24, 30-31)*

KFG	Päällystetty yleisvenymäliuska	
30	Liuskan pituus	30 mm
120	Liuskan vastus	120 Ω
C1	Johdon liitostapa	Kahden johdon liitos, toisessa päässä
11	Johdon pituuden lämpötilakerroin	$11 * 10^{-6} / ^\circ C$
N1M2	Johdon tyyppi	Kaksi polyesteripäällysteistä kupari johtoa, pituus 1 m



Venymäliuska (kuva 9) koostuu ohuesta metallilangasta, joka on silmukoiden muodossa tukipohjalla ja jonka vastus muuttuu silmukoiden venymän ja puristuman mukana. Vastuksen muuttuminen perustuu langan poikkileikkauksen ja pituuden muuttumiseen kuormittaessa. Mittauksen tarkkuus riippuu erityisesti mittalaitteesta ja sen ominaisuuksista, mutta myös mittakaapeleiden pituus on huomioitava. Mittakaapeleiden pituudesta aiheutuu virhettä mittaustulokseen, joka huomioidaan laskemalla pituuden korjauskerroin  $e$  kaavalla 3.

$$e = 1 + \frac{R_C}{R_B} * e_0 \quad (3)$$

$R_C$  = Kaapelin resistanssi =  $0,1 \frac{\Omega}{m}$

$R_B$  = Liuskan resistanssi =  $120 \Omega$

$e_0$  = kaapelin pituus [m]

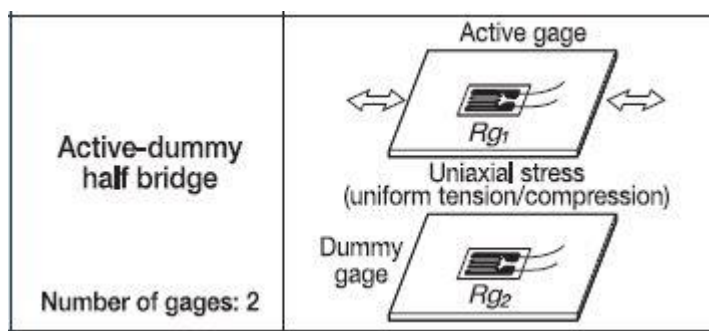
Pituuden vaikutuksen korjauskerroin lisätään liuskan omaan korjauskertoimeen, joka on eri jokaisella valmistetulla liuskaerällä ja ilmoitetaan liuskapaketissa. Liuskan korjauskerroin siis muodostuu kaapelin pituuden korjauskertoimesta ja liuskan omasta korjauskertoimesta. Mittausdataa keräävä ohjelma kysyy jokaisen kanavan, eli liuskan, kohdalla korjauskerrointa, johon syötetään erikseen jokaisen liuskan yhteenlaskettu korjauskerroin.



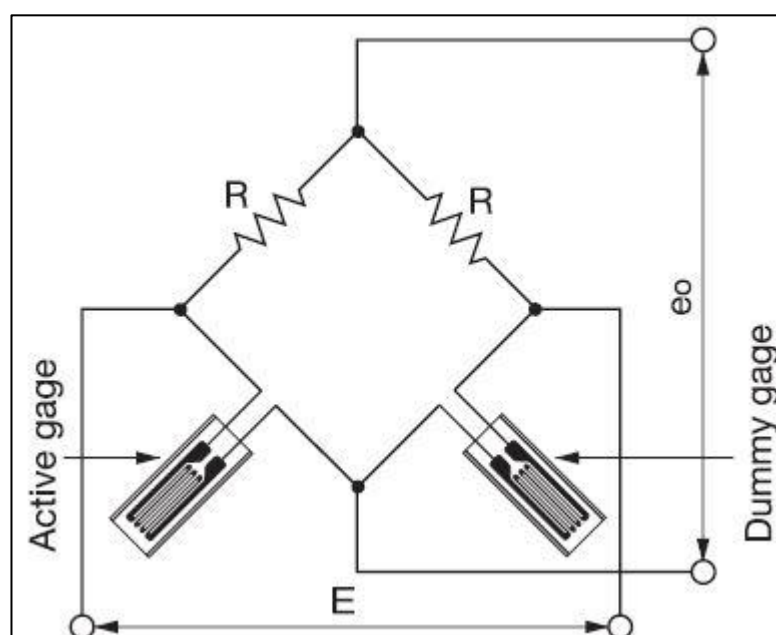
Kuva 9. Venymäliuska asennettuna (Jarno Oravasaari 2016)

Liuskamittauksissa käytetään liuskavahvistinta ja siihen tarvitaan liuskalle sekä virransyöttö että mittaus erillisistä johtimista. Liuskoja on pituudeltaan erimittaisia ja eri materiaalista valmistettuja erityyppisiin mittauksiin. Tulosten tarkkuuden ja luotettavuuden kannalta on liuskojen kiinnittäminen tehtävä huolellisesti (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 28-29). Venymäliuskoilla pystytään mittaamaan myös sillan tai sillan osien värähtelyä, mutta se ei ole tarkin menetelmä värähtelyn mittaamiseen (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 33). Tervassillan venymäliuskoilla ei mitata värähtelyä.

Yhdessä mittauskanavassa on kaksi venymäliuskaa, toinen on aktiivinen ja toinen niin sanottu dummy-liuska (kuva 10). Dummy-liuska on liimattu erilliseen puukappaleeseen, jolloin sillassa tapahtuvat venymät eivät vaikuta siihen. Liuskat kytketään half bridge -tekniikalla (kuva 11), jolloin muiden tekijöiden aiheuttamat venymät eivät vaikuta oikeaan mittaustulokseen (Strain cages 2011, 7).

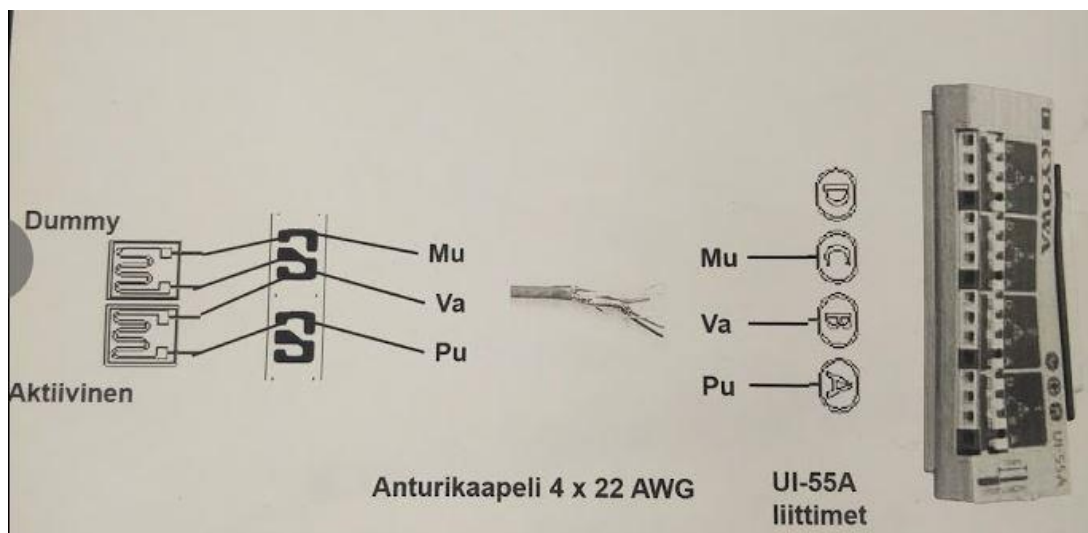


Kuva 10. Aktiivinen ja dummy-liuska. (Strain cages 2011, 14)



Kuva 11. Kahden venymäliuskan half bridge kytkentä (Strain cages 2011, 7)

Venymäliuskat kytketään anturisoittimen kautta keskusyksikköön, joka on yhteydessä internetiin. Venymäliuskat kytketään kuvan 12 mukaan anturisoittimeen, jolloin venymä aktiivisessa liuskassa aiheuttaa positiivisen signaalin ja puristus negatiivisen signaalin (Kukkurainen 2016).



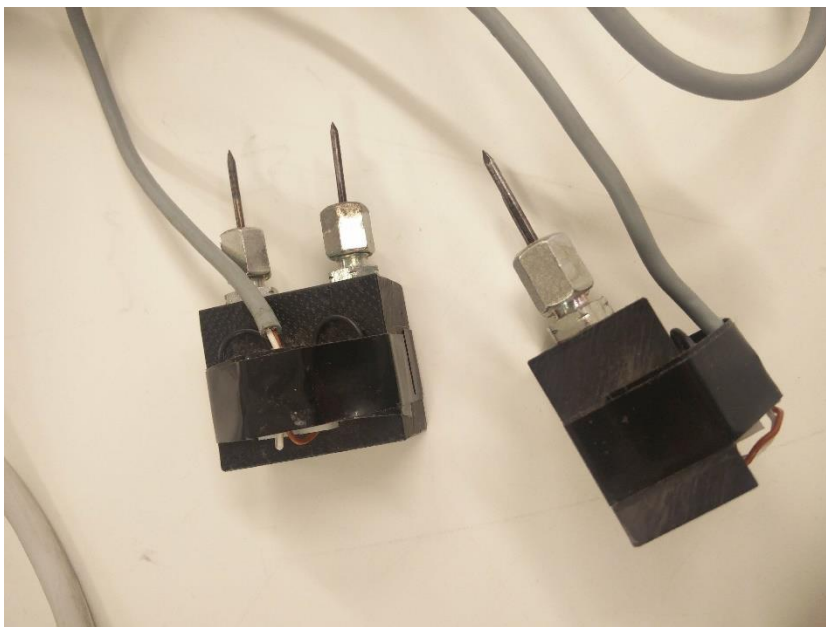
Kuva 12. Yhden mittauskanavan kytkentä venymäliuskoilta mittalaitteelle (Kukkurainen 2016)

Venymäliuskojen mittausjärjestelmä on ohjelmoitu toistamaan tämä mittaus 9999 kertaa. Tämän jälkeen mittaus pitää aloittaa alusta, joka tapahtuu helposti nappia painamalla, kun mittauksen asetukset on tallennettu valmiiksi ohjelmaan. Jokaisen mittauksen jälkeen mittausjärjestelmä tallentaa mittausdatan kovalevylle, josta ne lähetetään kerran päivässä SFTP-yhteyden avulla TAMKin palvelimelle, mistä ne ovat luettavissa millä tahansa laitteella. Hyvin optimoidulla järjestelmällä tarvitaan pienempi kovalevykapasiteetti, myös käytössä oleva datansiirto pienentää etätietokoneen kovalevykapasiteetin tarvetta. (Perrälä & Penttilä 2016, 16-17).

#### 4.1.2 Kosteuden seuranta

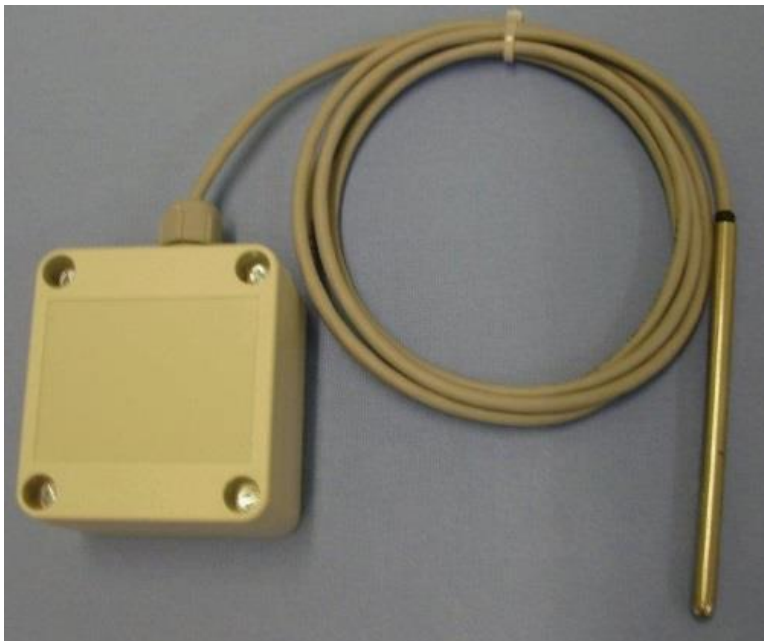
Tervassillasta mitataan puun kosteutta piikkimittareilla ja järjestelmään sisältyy myös ilman lämpötilaa ja kosteutta mittaavat yhdistelmäanturit. Kosteuden seurannan mittausjärjestelmään kuuluvat piikkimittarit, yhdistetyt lämpötila- ja kosteusanturit, lähettimet, dataloggeri sekä erillinen virtalähde. Anturit yhdistetään DAT2-lähettimeen ja GDU-12S/GSM hajautetun dataloggerin kautta internetiin. Kosteuden seurannan mittausjärjestelmällä on erillinen virtalähde, joka on kytketty Tervassillan kytkentäkaappiin.

Puun absoluuttista kosteutta voidaan mitata, kuten tässä, piikkimittarilla (kuva 13). Se perustuu kahden puuhun lyötävän metallielektrodin välisen konduktanssin mittaamiseen. Elektrodien välinen vastus on periaatteessa kääntäen verrannollinen kosteuspitoisuuteen (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 38). Mittaus tehdään niin, että piikit ovat mitattavan puun samassa syysässä eli syyn suuntaisesti, samalla syvyydellä. Kaikki sähkönjohtavuuteen vaikuttavat tekijät, esimerkiksi suolat, on otettava huomioon (Merikallio 2000, 741). Tämän vuoksi Tervassillassa käytettävät piikkimittarit on kalibroitu samalle paine- ja suolakyllästetylle puulle, kuin mistä sillan pääkannattajat on tehty.



*Kuva 13. Piikkimittari kosteuden mittaamiseen (2016).*

Piikkimittareiden yhteyteen asennetaan anturit, jotka mittaavat ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa (kuva 14).



*Kuva 14. Lämpötila- ja kosteusanturi (Envic Oy)*

Kosteuden mittausjärjestelmän dataloggeriin on kytketty kuusi DAT2-lähetintä. Lähettimet on jaettu jakorasiolla kahteen haaraan (kuva 15). Yhdessä haarassa on kolme sarjaan-kytkettyä lähetintä. Toisen haaran jokaisessa kolmessa lähettimessä on kaksi piikkimittaria ja toisen haaran yhdessä lähettimessä on piikkimittarit ja kahdessa muussa on yksi lämpötila- ja kosteusanturi, lähetintä kohden. Mittausdata saadaan lähetettyä dataloggerin gsm-yhteyden avulla suoraan haluttuun sähköpostiin. Tavoitteena on luoda erillinen sähköpostiosoite, johon tulokset lähetetään.

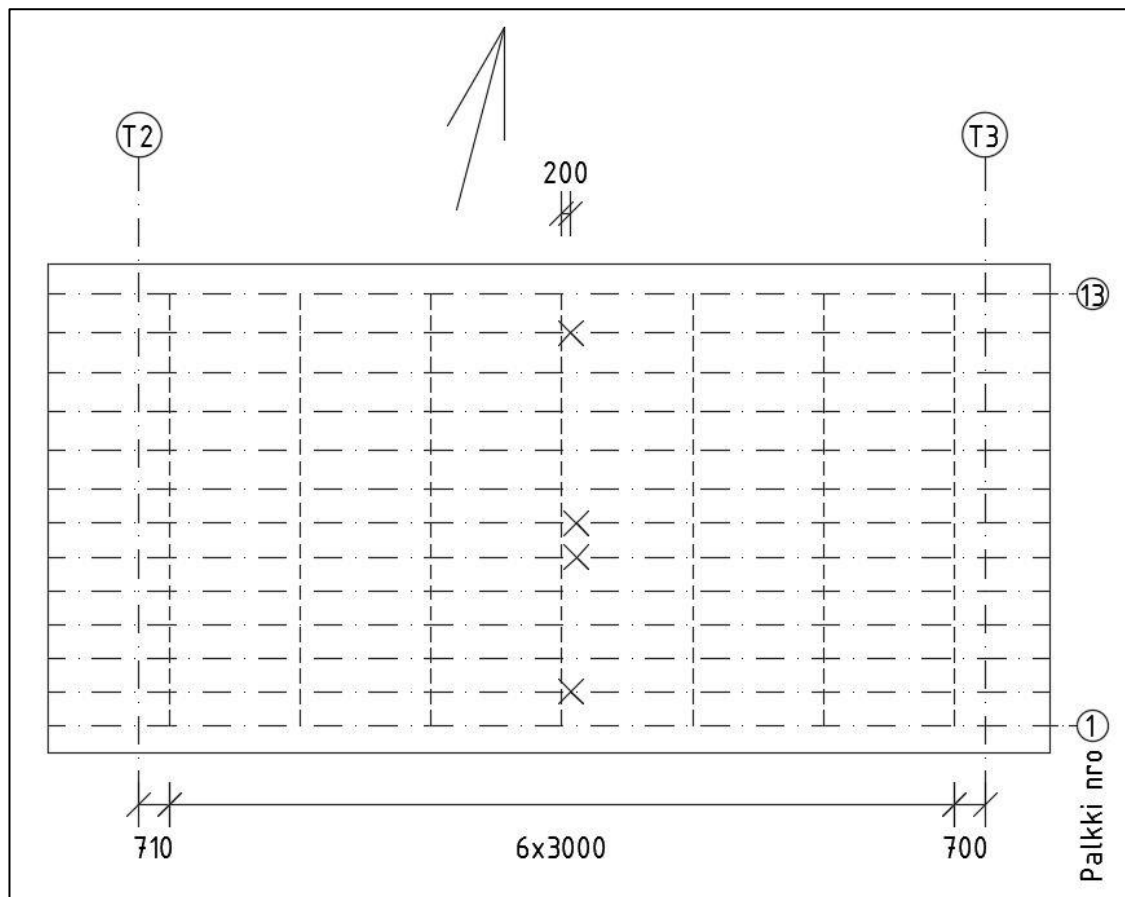


*Kuva 15. Sarjaankytketyt lähettimet (2016).*

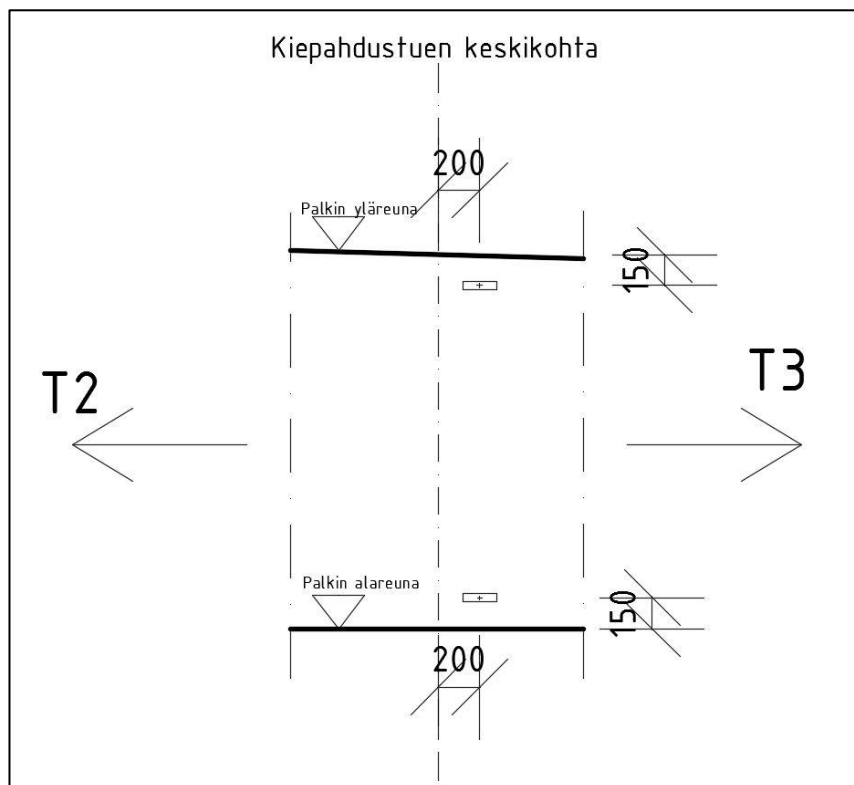
#### **4.1.3 Mitta-antureiden sijainti**

Venymiä mitataan neljästä pääpalkista samalta kohtaa tukivälillä T2-T3. Nämä palkit, joista mittaus tehdään ovat 2,6,7 ja 12 (kuva 16). Palkkien numerointi lähtee etelästä numerolla 1. Yhteen palkkiin liimattiin kaksi venymäliuskaa, toinen 150 millimetriä palkin yläreunasta alaspäin ja toinen 150 millimetriä palkin alareunasta ylöspäin. Palkin pituussuunnassa liuskan keskikohta sijoitettiin lähelle aukon keskikohtaa, 200 millimetriä keskimmäisen vinotuen keskikohdasta tuelle T3 päin (kuva 17, katso myös kuva 19). Vinotuella tarkoitetaan palkkien välissä kolmen metrin välein olevia kiepahdustukia.



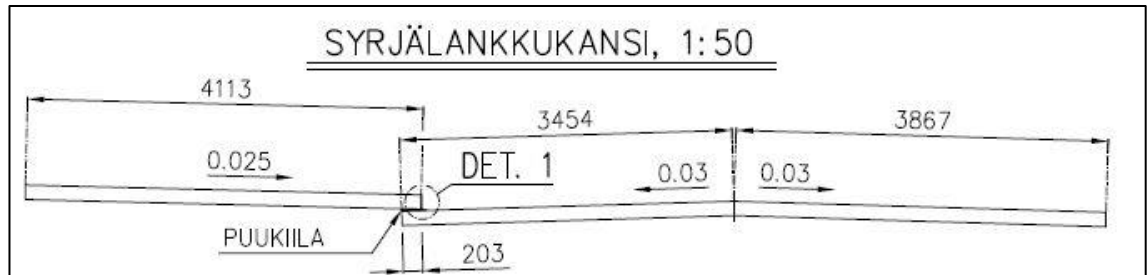


Kuva 16. Palkit, joihin venymäliuskat sijoitettiin.

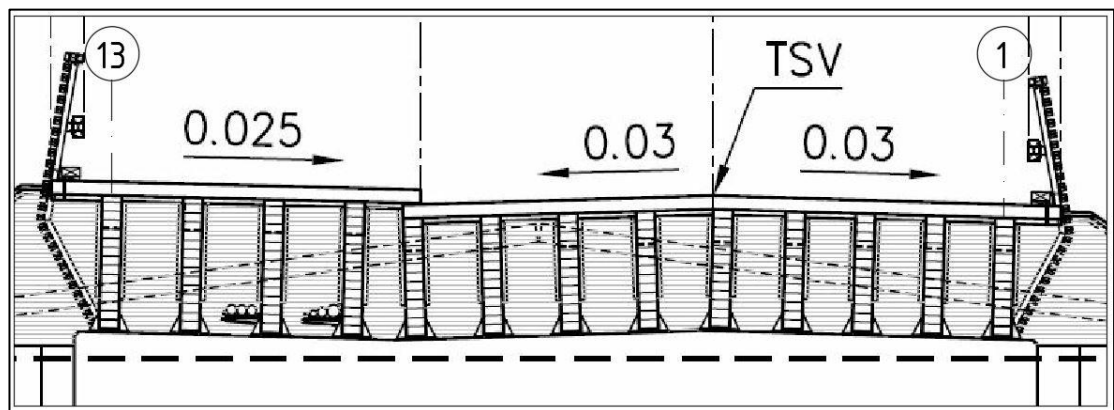


Kuva 17. Liuskojen paikat palkin kyljessä.

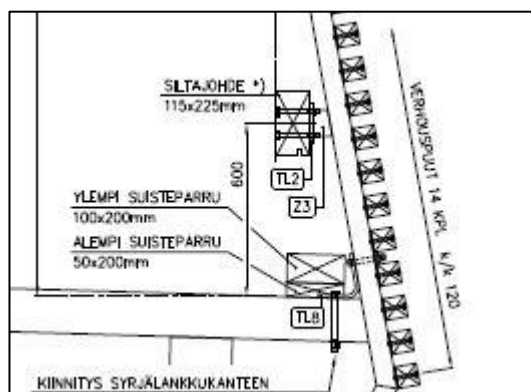
Tervassillan kansirakenteen kosteusteknistä toimintaa on käsitelty Tommi Ruotsilan opinnäytetyössä (Ruotsila 2016). Työssä on myös arvioitu kosteusteknisiä riskipaikkoja, joihin kannattaa keskittyä. Riskipaikkoja ovat kevyen liikenteen väylän ja ajoradan taitekohta (kuva 18), ajoradan keskikohta tasausviivalla (kuva 19) ja kannen suisteparrurakenne (kuva 20) (Ruotsila 2016, 63-66). Sillan rakenteesta johtuen pääpalkit kastuvat lähinnä kannen läpi tulevista vuotovesistä. Ainoastaan sillan uloimpien palkkien ulkopintoja saattaa vinosade kastella, jolloin niidenkin kosteuspitoisuuksia kannattaisi seurata.



Kuva 18. Kevyen liikenteen väylän ja ajoradan taitekohta (ote Tervassillan kannen ja päätypalkkien mittapiirustuksesta 2014)



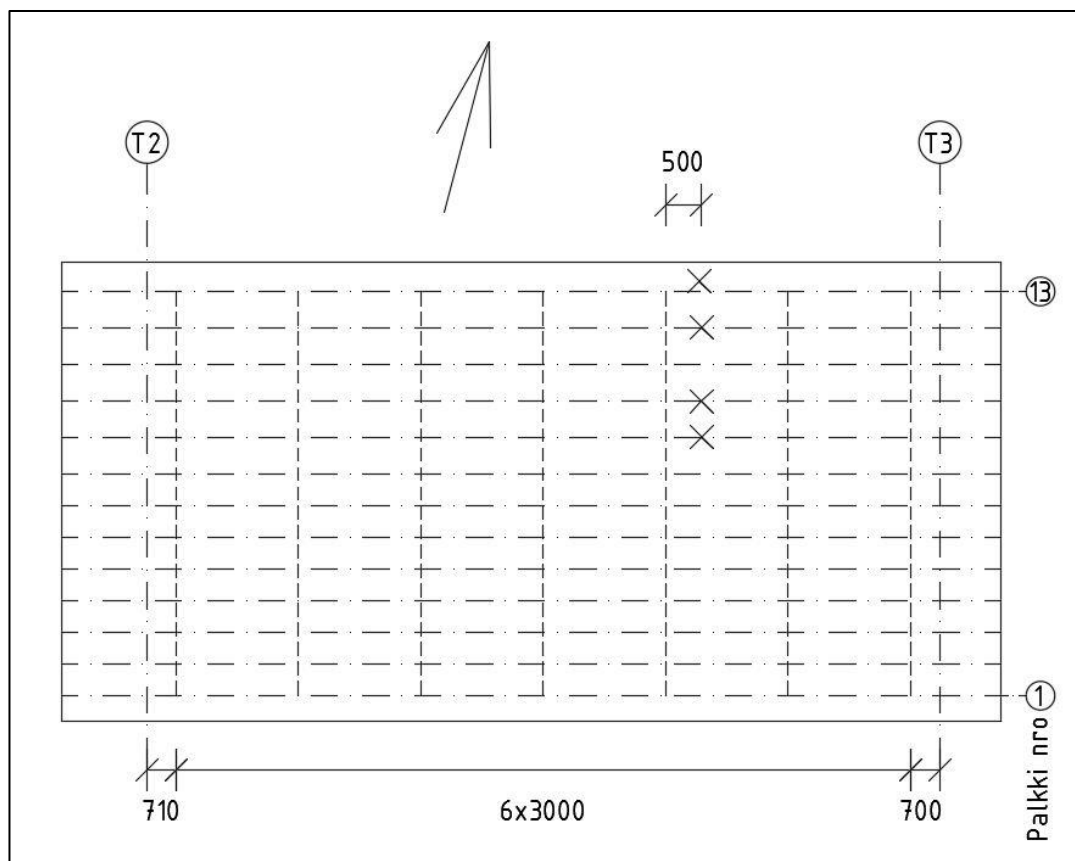
Kuva 19. Poikkileikkaus sillan keskikohdalla (ote Tervassillan yleispiirustuksesta 2014, muokattu)



Kuva 20. Kannen suisteparru eteläreunalla (ote Tervassillan kaidepiirustus 1:stä 2014)



Sillan kaiderakenteen puuverhouksesta johtuen ei sillan uloimpien palkkien ulkopintoihin saada kosteusmittausantureita. Kosteusmittaukset pyritään suorittamaan pääpalkista kevyen liikenteen väylän ja ajoradan taitekohdan alla sekä kahdesta muusta palkista ja sillan kannen päältä suisteparrun takaa (kuva 21). Mittarit asennetaan palkin kylkeen, lähelle alareunaa ja toinen lähelle yläreunaa. Asennuskorkeus voi vaihdella, johtuen sillan rakenteista. Kosteuksia mitataan läheltä sillan tukea T3, koska kytkentäkaappi sijaitsee siellä. Mitta-antureiden sijainnit ja suositellut asennuspaikat löytyvät kootusti liitteestä 4.



Kuva 21. Palkit ja kannen kohta, joihin piikkimittarit suositellaan sijoitettavan.

## 4.2 Kohteessa tehtävät mittaukset

Sillalla tehtäviä mittauksia ovat laserkeilauksella tapahtuva syrjälankkukannen kuluminen seuranta, koekuormitukset ja siltaa käyttävän liikenteen selvitys. Syrjälankkukannen kulumisen seuranta suoritetaan 3D-laserskannauksella. Koekuormitukset tehdään ras-kaalla kuljetuskalustolla ja siirtymäantureilla. Liikenteen seuranta suoritetaan laskemalla sillan ylittävä liikenne tyypeittäin.

#### 4.2.1 Syrjälankkukannen kulumisen seuranta

3D-laserskannauksessa, eli laserkeilauksessa, laitteen lähettämä lasersäde heijastuu takaisin osuessaan kohteeseen, josta laite laskee kohteen etäisyyden. Sijainnin määrittämiseen on erilaisia tekniikoita, joista yleisimpiä ovat säteen kulkuaikaan perustuva menetelmä eli niin kutsuttu pulssilaser ja vaihe-eron mittaukseen perustuva menetelmä eli niin kutsuttu vaihe-erolaser (kuva 22) (Tammi 2015, 7-8).



KUVA 22. Faro 3D-laserskanneri (FARO)

Rakenteesta saadaan kolmiulotteinen kuva, kun laserpulssi lähetetään eri kohtiin rakennetta. Keilaimen sijainti pitää tietää tarkasti, esimerkiksi kiintopisteen avulla, jotta kohde pystytään sijoittamaan koordinaatistoon. Tarkan kolmiulotteisen mallin saamiseksi on laserkeilauslaitetta siirrettävä eri puolille kohdetta, joista skannaukset yhdistetään (Tammi 2015, 12-13). Laserkeilaus on suhteellisen hidasta, joten sitä käytetään vain rakenteen muodon ja pysyvien muodonmuutosten mittaamiseen. Saatu tarkkuus riippuu rakenteen koosta ja keilaimen etäisyydestä rakenteesta. Hyvissä olosuhteissa kiinteällä maanpäällisellä laserskannerilla voidaan päästä muutaman millimetrin tarkkuuteen (Siltojen monitorointikäsikirja 2016, 25-26).

Skannaus tehdään kulloinkin käytössä olevalla laitteistolla, työn tekemisen hetkellä Tampereen ammattikorkeakoulun Rakentaminen ja teknologia -yksiköllä on käytössä FARO Focus<sup>3D</sup> X330 laserskanneri. Ensimmäinen skannaus sillasta tehtiin kaksi vuotta sitten, kun kansirakenne ei ollut vielä valmis, joten syrjälankkukannesta lähtötilanteen pistepilvidataa ei ole.

#### 4.2.2 Koekuormitukset

Koekuormituksella saadaan tarkkaa tietoa sillan toiminnasta kantavuuden arvioimista varten. Koekuormitukseen liittyy aina laskennallinen analyysi ja koekuormituksen mitaustuloksia verrataan sillan analysoinnissa saatuihin tuloksiin. Koekuormitusten tarve liittyy yleensä kantavuuden selvittämiseen. Koekuormituksista on hyötyä silloin, kun sillan kantavuus ei ole normaalien laskentamenetelmien perusteella riittävä tai kun sillan rakenteellinen toiminta on epävarmaa. Sillan kantavuus koekuormalla täytyy tarkistaa laskennallisesti murtorajatilatarkastelulla, jossa otetaan huomioon vaadittava varmuustaso ja liikennekuorman sysäyskertoimet (Siltojen monitorointiohje 2016, 33).

Koekuormituksia on kahdenlaisia, *staattisia* kuormituskokeita ja *dynaamisia* kuormituskokeita. Staattiset kuormituskokeet (kuva 23) ovat yleisimmin käytetty koetyyppi, siinä käytetään sillalle eri kuormitusasentoihin sillan pituus- ja poikkisuunnassa pysäytettyjä ajoneuvoja. Yleensä tarvitaan useita eri kuormitusasentoja kriittisten kuormitusasentojen löytämiseksi. Dynaamisissa kuormituskokeissa sillan yli ajetaan kuormitusajoneuvolla sillan dynaamisen käyttäytymisen, mm. värähtelyn ja ajoneuvokuormasta aiheutuvan sysäyksen selvittämiseksi. Todellisen liikenteen vaakakuormien selvittämiseksi voidaan, dynaamisten kuormituskokeiden yhteydessä, tehdä jarrutuskokeita (Siltojen monitorointiohje 2016, 33).



*Kuva 23. Tervassillan koekuormitus 2016. (Heli Viljanen 2016)*

Koekuormitus tehdään ennalta suunnitelluin liikennejärjestelyin lyhyissä liikennekatkoissa ja paikalla on oltava asiantuntija, joka ohjaa koekuormitustapahtumaa. Ajoneuvon kokonaispaino mitataan kokonaispainovaa'alla ja akselipainot erikseen akselipainovaa'oilla. Myös ajoneuvojen akselivälit ja renkaiden leveydet pitäisi olla tiedossa. Koekuormituksen suunnittelija määrää käytettävät kuormat, laskennallisessa analyysissä käytetty kuormakaavio on usein LM3 (NCCI 1 2014, 11). Tarkasteltava kuormakaavio voi olla painorajoitustarkastelussa käytettävä ajoneuvoasetuksen mukainen kaavio tai tapauskohtainen erikoiskuljetuskaavio. Käyttöikään liittyvissä tutkimuksissa pyritään käyttämään todellista kuormaa (Siltojen monitorointiohje 2016, 35). Todellista kuormaa käytetään myös, kun halutaan selvittää esimerkiksi muodonmuutokset todellisesta kuormasta.

Tervassillan koekuormitus tehtiin 29.1.2016 osana Heli Viljasen opinnäytetyötä (Viljanen 2016). Kuormitusajoneuvoina käytettiin kahta 3-akselista, täydellä sorakuormalla lastattua, kuorma-autoa. Taipumien mittaukseen käytettiin siirtymäantureita (Viljanen 2016, 27-30).

#### **4.2.3 Liikenteen selvitys**

Siltaa käyttävän liikenteen määrä selvitetään laskemalla vuorokauden vilkkaimman tunnin aikana sillan yli kulkevan liikenne tyypeittäin. Laskenta tehdään arkipäivänä, joko tiistaina, keskiviikkona tai torstaina. Vilkkain tunti on joko aamulla noin 7.30-8.30 tai iltapäivällä noin 16-17. Se edustaa riittävällä tarkkuudella kymmentä prosenttia koko vuorokauden liikenteestä (KVL) (Sivenius 2017). Sillalla tehtävissä mittauksissa on huomioitava liikennejärjestelyt sekä mittauksien turvallinen suorittaminen. Mittaus uusitaan, kun rakentaminen Harjanteen alueella vähenee, koska silloin liikenteen jakauma muuttuu työmaaliikenteen vähentyessä.

## **5 TERVASSILLAN MONITOROINTISUUNNITELMA**

### **5.1 Mittauksen kohteet**

Sillan rakenteellista toimintaa mitataan venymäliuskoilla ja koekuormituksilla. Venymäliuskoilla mitataan sillan neljän pääkannattajan jatkuvia venymiä sekä koekuormituksissa tapahtuvia venymiä. Venymiä mitataan, jotta saadaan selville rakenteessa rasitukset eri kuormituksilla ja kuinka hyvin ne vastaavat laskennallisia rasituksia. Koekuormituksilla mitataan siltaa sen käyttäytymisen ja kantavuuden selvittämiseksi sekä muodonmuutosten kautta saadaan viruman suuruus.

Sillan kuntoa ja olosuhteita mitataan kosteutta mittaavilla piikkimittareilla, ilman lämpötila- ja kosteusantureilla sekä laserkeilauksella. Laserkeilauksella selvittää sillan syrjä-lankkukanteen syntyviä kulumia. Syrjä-lankkukannen kulumista seurataan, jotta saadaan tietoa sen pitkäaikaiskestävyydestä ja liikenteen vaikutuksesta sen kulumiseen. Sillan kuntoa mittaavat anturit mittaavat sillan pitkäaikaisia ominaisuuksia, kuten kosteutta ja lämpötilaa. Rakenteiden kosteuspitoisuuden seurannan tarkoituksena on kartoittaa rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä sekä rakenteen kosteusjakaumaa, josta voidaan arvioida ovatko kosteuslukemat kriittisiä rakenteen toiminnan kannalta (Merikallio 2000, 744). Siltapaikalle pitää tehdä tarkastuskäyntejä, joilla seurataan sillan ja mittalaitteiston kuntoa.

### **5.2 Mitattavien suureiden jaottelu**

Tämän monitorointiprojektin mittaukset jaotellaan monitorointimenetelmien mukaan jatkuvaan, jaksottaiseen ja kertamonitorointiin. Venymien mittaus ja kosteuden seuranta ovat jatkuvaa monitorointia. Jaksottaista monitorointia ovat koekuormitukset, syrjä-lankkukannen kulumisen seuranta, siltaa käyttävän liikenteen määrittäminen ja siltapaikalle tehtävät tarkastuskäynnit. Kertamonitorointia ei tässä projektissa ole.

### 5.2.1 Jatkuva monitorointi

Venymien mittaus sillalla alkaa, kun ylitetään triggausarvo  $120 \mu m/m$ . Venymäliuskat mittaavat venymiä, kunnes sillan venymät laskevat triggausarvon alle. Triggausarvo tarkoittaa, että kun palkissa on 5 millimetrin taipuma venymien mittaus lähtee käyntiin. Taipuman suuruuden määrittämisessä käytettiin apuna sillalle jo tehdyssä koekuormituksessa tapahtuneita taipumia. Kun siltaa kuormitettiin yhdellä täydessä sorakuormassa olevalla kuorma-autolla, sillan pääkannattajien taipumat olivat 7-8 millimetriä (Viljanen 2016, 29, 51). Tätä taipumaa pienennettiin hieman, jotta tuloksia saadaan myös kevyemmiltä ajoneuvoilta, mutta ei jokaiselta siltaa ylittävältä ajoneuvolta.

Kosteuspitoisuuden vaikutusta tarkastellaan rakenneosittain, pääpalkiston ja syrjälankkukannen osalta. Tähän monitorointiin ei saatu syrjälankkukannen kosteuspitoisuuden seurantaa. Kosteuspitoisuus vaikuttaa kantavuuteen, muodonmuutoksiin ja mekaaniseen kulumaan. Pääpalkistossa kosteuspitoisuuden vaikutusta tarkastellaan kantavuuden ja muodonmuutosten osalta. Puun kosteuspitoisuuden kasvaessa puun lujuus- ja jäykkyysominaisuudet heikkenevät. Muodonmuutoksia tapahtuu, kun puu kuivuu se kutistuu ja kosteuspitoisuuden kasvaessa puu turpoaa. Syrjälankkukannessa kosteuspitoisuus vaikuttaa puun muodonmuutoksiin ja mekaaniseen kulumaan. Muodonmuutokset tapahtuvat samoin kuin pääpalkeissa ja puun kosteuspitoisuuden kasvaessa mekaaninen kuluma on oletettavasti suurempaa.

### 5.2.2 Jaksottainen monitorointi

Tervassillan syrjälankkukantta skannataan laserkeilaus menetelmällä useasta suunnasta ja kiinteistä pisteistä. Skannaus suoritetaan aina samoista pisteistä, jolloin tuloksista saadaan selville tapahtunut kuluma. Tervassillasta seurataan kansirakenteen keskimääräistä kulumaa, paikallista urautumaa ja kulumisen vaihtelua. Kansirakennetta ei ole vielä skannattu, joten kun kansi skannataan saadaan selville silloinen syrjälankkukannen lähtötilanne sekä kuinka paljon paikallista urautumaa on tapahtunut.

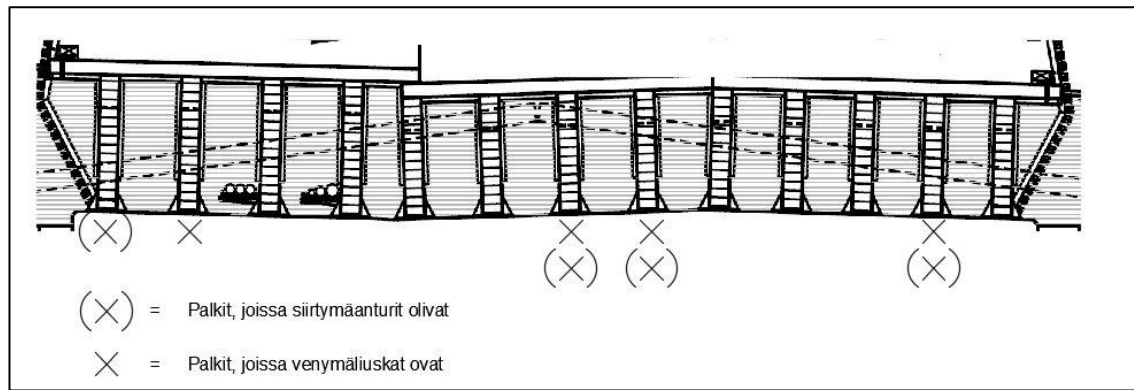
Koekuormitukset tehdään sillan kriittisille pisteille kriittisillä kuormitusasunnoilla. Koekuormitukset Tervassillalle toistetaan aiemmin tehdyn koekuormituksen mukaan. Tervassillalle tehdään sekä staattisia että dynaamisia koekuormituksia. Koekuormituksissa käytetään samoja kuormitustapauksia ja kuormituskohtia sekä samaa kalustoa kuin Tervassillalle aiemmin tehdyssä koekuormituksessa. Taipumien mittausta varten sillan alle asennetaan siirtymäanturit (kuva 24) samoin kuin H. Viljasen suorittamassa koekuormituksessa.



*Kuva 24. Siirtymäanturi asennettuna paikoilleen (TAMK rakennuslaboratorio 2016)*

Sillalle asennetut venymäliuskat pyrittiin asentamaan samoihin palkkeihin kuin mistä taipumia mitattiin. Yhteen palkkiin, josta taipumia mitattiin, ei rakenteellisista syistä joutuen saatu asennettua venymäliuskoja vaan ne asennettiin viereiseen palkkiin (kuva 25). Taipumien mittaus suoritetaan samoista palkeista siirtymäantureilla kuten edellisellä kerralla. Venymäliuskoilla saadaan selville jännitykset sillan palkeissa. Toistamalla kuormituskoe pystytään tuloksia vertailemaan ja saadaan tietoa sillan käyttäytymisestä sen elinkaaren aikana. Toistamalla kuormituskokeet saadaan myös, muodonmuutosten kautta, vi-  
ruman aiheuttamaan lisätaipuma selville.





Kuva 25. Siirtymäanturien ja liuskojen sijainnit sillan palkeissa (ote Tervassillan yleispiirustuksesta 2014, muokattu)

Rakenteen tietyn pisteen suhteellisella venymällä  $\varepsilon$  saadaan selville myös rakenteen taipuma  $v$  samaisessa pisteessä. Kaavasta 4 nähdään venymän ja taipuman välinen yhteys.

$$EI \cdot v''(x) = -M(x) = -\frac{\varepsilon \cdot EI}{y} \quad (4)$$

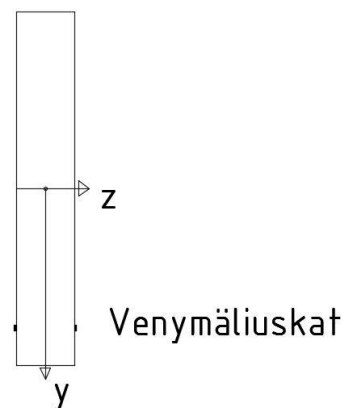
$EI$  = Palkin taivutusjäykkyys

$v''(x)$  = Taipumaviivan yhtälö

$M(x)$  = Taivutusmomentti

$\varepsilon$  = Suhteellinen venymä

$y$  = Etäisyys neutraaliakselilta (kuva 26)



KUVA 26. Palkin poikkileikkaus venymäliuskojen kohdalta

Kun kaava 4 integroidaan kahdesti, selvitetään integrointivakiot ja sijoitetaan tunnetut mitat, päästään kaavaan 5. Siitä nähdään yksinkertaistettuna sama yhteys, mutta kaava ei ole yleinen vaan juuri tämän kohteen mitoille spesifioitu ja pätee vain, kun palkin käyritymä oletetaan vakioksi koko palkin matkalle. Liitteessä 1 näytetään miten tähän yhteyteen päästään.

$$v = 0,094 \cdot \varepsilon \quad (5)$$

$v$  = Taipuma

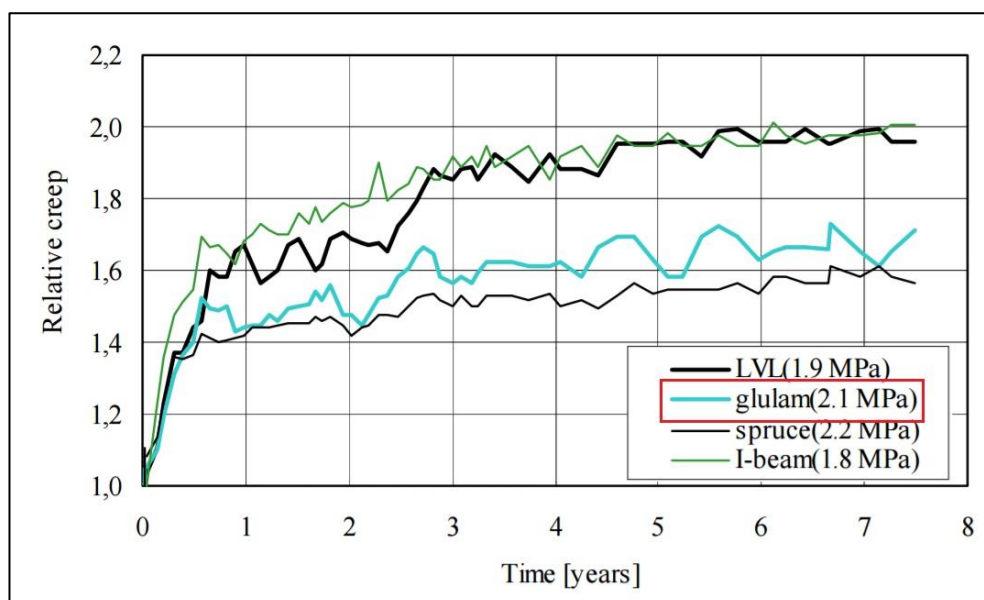
$\varepsilon$  = Liuskaporin suhteellisten venymien keskiarvo

Palkin taipuman suuruus riippuu kuormituksen suuruudesta, sen tyypistä ja palkin ominaisuuksista (palkin pituus ja taivutusjäykkyys). Kuormitus aiheuttaa palkkiin momenttia, johon palkin pituus vaikuttaa ja momentti aiheuttaa taipuman. Mitä suurempi momentti on sen suurempi taipuma, koska palkin taivutusjäykkyys pysyy samana. Tässä tapauksessa ei ole mielekäästä lähteä käsin laskemaan kaavaa palkin taipuman riippuvuudelle kuormituksesta, koska kuormitustapaus ei ole tavanomainen.

Liikenteen määrä tyypeittäin laskettiin 23.3.2017. Vilkkaimman tunnin liikennemäärä oli 55 ajoneuvoa ja vilkkain tunti oli aamulla 7.30-8.30. Vilkkaimman tunnin perusteella sillan tämän hetkinen vuorokausiliikenne (KVL) on 550 ajoneuvoa, josta raskaan liikenteen osuus on 15 %. Vilkkaimman tunnin aikana sillan ylitti 47 Henkilö- tai pakettiautoa ja 8 Kuorma-autoa ilman perävaunua. Siltapaikalle tehtävillä tarkastuskäynneillä tarkkaillaan sillan ja anturien kuntoa silmämääräisesti.

### **5.3 Mittauksen ajallinen vaiheistus**

Suomessa siltojen yleistarkastus tehdään keskimäärin viiden vuoden välein, riippuen sillan kunnosta ja vaurioista (Sillantarkastusohje 2004, 36). Syrjälankkukannen kulumisen seuranta ja siltapaikalle tehtävät tarkastuskäynnit tehdään samalla syklillä. Näin saadaan sillan syrjälankkukannen suunnittelukäyttöiän, joka on 25 vuotta, aikana tasaisin välein tietoa kannen kulumisesta. Seuraava koekuormitus tehdään vuoden päästä ja siitä seuraava kymmenen vuoden päästä. Kaksi viimeistä koekuormitusta tehdään 25 vuotta sillan käyttöönotosta ja viimeinen kun sillan pääkannattajat ovat käyttöikänsä päässä. Vuoden päästä on kulunut kolme vuotta sillan käyttöönotosta, jolloin suurin osa viruman aiheuttamasta lisätaipumasta on tapahtunut (kuva 27). Lisätaipumasta aiheutuva rasitusten kasvu on silloin tapahtunut, jolloin sen takia ei tarvitse tihentää koekuormitusten aikaväliä.



Kuva 27. Suhteellinen viruma ajan suhteen eri puumateriaaleille (Ranta-Maunus & Korttesmaa 2000, 4)

Jatkuvakestoinen venymien mittaus ja kosteuden seuranta sillalla aloitetaan vuoden 2017 aikana ja mittauksen on tarkoitus kestää useita vuosia. Sillan pääkannattajien suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta, joten mittauksen pitää kestää tarpeeksi pitkään, jotta saadaan riittävästi tietoa sillan pitkäaikaiskestävyydestä. Venymäliuskat voivat olla sillassa koko sen käyttöiän, jolloin niitä pystytään hyödyntämään koekuormituksissa. Jatkuvassa monitoroinnissa pyritään toimivuusluokkaan 3 eli 80% toimivuusaikaan ja 4 viikon pisimpään katkoaikaan. Koska kyseessä on pitkä jatkuva monitorointi ja monitorointiprojektilla on hyvin rajalliset resurssit, sallitaan toimivuusluokan 3 tavoitteisiin huonompi toimivuusaika ja pidempi katkoaika.

#### 5.4 Mittaukseen tarvittava työryhmä ja resurssit

Mittausjärjestelmän asentamiseen tarvittava työryhmä on kaksi henkilöä ja käytettävissä pitää olla henkilönostin. Koekuormituksessa ja laserkeilauksessa tarvitaan enemmän henkilöitä, jotta liikennejärjestelyt saadaan hoidettua turvallisesti, vähintään neljä henkilöä. Etäluettavien mittaustulosten analysoinnin ja monitoroinnin pystyy tekemään yksi henkilö. Liikenteen laskentaan tarvitaan vain yksi henkilö. Laitteiston huoltoon ja kalibrointiin riittävä työryhmä on kaksi henkilöä. Siltapaikalle tehtäviin tarkastuskäynteihin riittävä työryhmä on yksi henkilö. Käytettävissä olevien resurssien mukaan olisi suositeltava

vaa kuitenkin käyttää kahden henkilön työryhmää, jolloin tarkastuksesta saataisiin kattavampi ja huomioimatta jäävien asioiden mahdollisuus pienenisi. Mittaushenkilöstöltä ei vaadita erityisiä pätevyyskysymyksiä, jolloin opiskelijoiden käyttö on mahdollista.

Tulosten analysoinnissa tarvitaan ohjelmia, joilla saadaan muodostettua etätyöpöytäyhteys ja tiedonsiirto paikallisen ja Tervassillalla sijaitsevan etätietokoneen välillä. Mittauksista saatava data tallennetaan muodoissa, jotka ovat yleisiä ja näin ollen myöhemmin helposti käsiteltävissä. Venymäliuskoilta tuleva data tallentuu Excel-työkirjana (tiedostomuoto .xlsx). Piikkimittareilta ja lämpötila- ja kosteusantureilta saatava mittausdata tallentuu CSV-tiedostona (tiedostomuoto .txt). 3D-laserskannauksesta saatava pistepilvi-data tallennetaan tekstitiedostona (tiedostomuoto .txt). Mittausdatan tallennuspaikka on TAMKin palvelimella sijaitseva projects-kansio.

## **5.5 Monitoroinnin raportointi**

Monitoroinnin pääsuunnittelijan, jota tässä monitoroinnissa ei varsinaisesti ole, tehtäviin kuuluu myös monitorointitulosten analysointi sekä jatkotoimenpide-ehdotukset (Siltojen monitorointiohje 2016, 21). Tässä monitorointiprojektissa tulosten analysoinnin ja jatkotoimenpide-ehdotukset tekee erillinen monitorointitulosten käsittelijä. Tavallisimmin monitoroinnin mittauksista laadittaisiin mittausraportit, jotka sisältäisivät mittausten pääkohdat (Siltojen monitorointiohje 2016, 31). Tämän monitorointiprojektin resursseista johtuen mittauksien raportointia ei tehdä erikseen vaan ne sisällytetään varsinaiseen monitorointiraporttiin. Raporttiin liitetään valokuvat, videot, tutkimusraportit ja muut asiakirjat, joita projektista laaditaan. Raportointi tehdään opinnäytetöinä. Koekuormitusten raportointi pitäisi tehdä erillisenä, heti koekuormituksen jälkeen (Siltojen monitorointiohje 2016, 32). Tässä projektissa näin ei tehdä vaan raportointi tehdään useamman koekuormituksen jälkeen vertailevana tutkimuksena. Myös syrjälankkukannen kulumisen seurannan raportointi tehdään vertailevana tutkimuksena useamman mittauskerran jälkeen. Tässä monitorointiprojektissa jatkuvan monitoroinnin raportteja tehdään useita monitoroinnin aikana johtuen monitoroinnin pitkästä kestosta. Monitorointiraporttien sopiva väli on kymmenen vuotta riippuen käytössä olevista resursseista. Monitorointiraportin pitäisi sisältää ainakin seuraavat asiat:

- sillan yleiskuvaus
- monitoroinnin tavoite
- käytetyt tutkimusmenetelmät ja –välineet
- selostus tutkimustuloksista ja niiden merkityksestä rakenteiden kuntoon ja säilyvyyteen rakenneosittain
- mittaustulokset
- lujuustekninen analyysi
- tutkimustuloksiin liittyvät sallitut ja kriittiset arvot rakenteista saatujen tulosten vertailupohjaksi
- arvio mittausten epävarmuudesta.

(Siltojen monitorointiohje 2016, 32).

Monitorointiin sisältyy myös sillan lujuustekninen analyysi ja kantavuuslaskenta, jotka tehdään Liikenneviraston Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukaisesti. Vertaileva laskenta tehdään tarvittaessa. Tässä monitorointiprojektissa ei resursseista johtuen rakenne-mallia tai tietomallia ole tehty. Monitorointiprojektin aikana saatavat tekniset dokumentit, kuten suunnitelmat ja piirustukset tallennetaan TAMKin palvelimelle projects-kansioon.

## 5.6 Monitorointiprojektin tilanne työn valmistuessa

Tämän opinnäytetyön valmistuessa Tervassillan jatkuvaa monitorointia ei ole vielä käynnistetty. Toiseen liuskavahvistimeen liitettyjä venymäliuskoja ei ole saatu nollattua, että venymien mittaus alkaisi nollasta. Piikkimittarien kalibrointi on suoritettu väärin ja mittarit näyttävät liian pieniä absoluuttisia kosteuksia palkeille. Piikkimittarit täytyy ottaa irti ja lähettää uudelleen kalibroitavaksi. Jaksoittaisen monitoroinnin syrjälankkukannen kulumisen seurannan lähtötilanteen 3D-laserskannausta ei ole suoritettu ja se tulisi suorittaa mahdollisimman pian. Muut jaksottaisen monitoroinnin mittaukset ovat hoidettu.

## 6 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä laadittiin monitorointisuunnitelma Tervassillalle ja käsiteltiin yleisesti puuta siltojen rakennusmateriaalina. Puu siltojen rakennusmateriaalina on Suomessa vähän käytetty, mutta todennäköisesti yleistyy tulevaisuudessa ekologisuutensa ansiosta. Jatkuvan monitoroinnin avulla saadaan käytännön tietoa puusillan pitkäaikaiskestävyydestä ja varsinkin syrjälankkukannen kestävyyydestä suunnittelukäyttöikään verrattuna. Suurin ongelma puun käytössä siltojen rakennusmateriaalina on ennakkoluulot puuta kohtaa, mutta nekin poistunevat, kun saadaan hyviä käyttökokemuksia ja positiivisia tutkimustuloksia puun käytöstä silloissa.

Monitorointisuunnitelma on pyritty laatimaan Liikenneviraston ohjeiden, jotka toimivat suuntaa antavina, ja tilaajan toiveiden mukaan. Monitoroinnin tilaajana toimi Tampereen ammattikorkeakoulu, jolle myös opinnäytetyö tehtiin. Tämä vaikeutti osaltaan suunnitelman tekemistä, koska käytännössä tämä tarkoitti, että monitoroinnin pääsuunnittelija toimi tilaajan konsulttina päätettäessä monitorointimenetelmää, laajuutta ja kestoja. Koska monitorointitarpeen tyyppi on tutkimus ja alan kehittäminen, ei monitoroinnin pääsuunnittelijalta vaadita erityisiä pätevyyksiä, mutta saatavien tulosten hyödyllisyyteen pätevyyksien puuttuminen vaikuttaa.

Mittaustuloksien luotettavuuteen ja tarkkuuteen vaikuttaa paljon kuinka hyvin anturit saadaan asennettua. Venymäliuskoja asennettaessa haasteellista oli niiden asentaminen suoraan, mikä oli käytännössä mahdotonta, kun kyseessä on 30 millimetrin liuskat. Tuloksiin vaikuttaa se, kuinka paljon yksittäinen liuska on vinossa ja kuinka paljon liuskat ovat pariinsa nähden (palkin ylä- tai alareunassa oleva liuska) vinossa. Piikkimittareiden kohdalla tarkkuuteen vaikuttaa, ovatko piikit puun samassa syysässä ja samalla syvyydellä. Piikkimittareiden asennuksesta aiheutuvat epätarkkuudet eivät ole niin merkittäviä kuin venymäliuskoilla. Virheen suuruutta on erittäin vaikea arvioida, mutta virhe ei ole suuri ja se todennäköisesti kompensoituu laskennassa pois, kun laskennassa käytetään keskiarvovenymä.

Luonnollisia jatkotoimenpiteitä ovat monitorointiprojektin puuttuvien asiakirjojen laatiminen, jotka ovat tässä monitorointiprojektin vaiheessa toteutus- ja turvallisuussuunnitelma. Liitteessä 2 on viitteellinen toteutussuunnitelma. Loput asiakirjat (opinnäytetyöt) laaditaan, kun monitoroinnista saadaan tuloksia, monitorointisuunnitelman mukaisesti. Mahdollisia tulevien opinnäytetöiden aiheita ovat syrjälankkukannen kulumisen tarkempi seuranta (esimerkiksi liikenteen tarkka seuranta, puun kosteuspitoisuuden vaikutus kulumaan ja eri vuodenaikoina tapahtuvat kulumat) ja kyllästetyn puun pitkäaikaiskestävyys (esimerkiksi kosteuspitoisuuden merkitys, mahdollinen lahon muodostuminen ja vertailu kyllästämättömään puutavaraan). Tarkempi sillan yli kulkevan liikenteen seuraaminen auttaisi tulosten analysoinnissa sekä sillan pitkäaikaiskestävyyttä, että sillan kunnon kehittymistä tutkittaessa. Vaikka tarkempaa liikenteen seurantaa ei tehtäisi, pitää sillan yli kulkevan liikenteen määrä päivittää uudella laskennalla, kun Isokuusen alueen rakennuksista suurempi osa on valmiina.

Monitoroinnin tavoite saavutetaan, kunhan monitoroinnilla tuotetaan käyttökelpoista tutkimustietoa sillan pitkäaikaiskäyttäytymisestä. Puun arvostuksen kasvattaminen ja puun käytön lisääminen sillanrakennusmateriaalina riippuu siitä, saadaanko tulevaisuudessa positiivisia tuloksia puun käytöstä. Tämä monitorointiprojekti on yksi mahdollisuus tuottaa puun käyttöä edistäviä tuloksia.

## LÄHTEET

Emin Aktan, A., Necati Catbas, F., Grimmelsman, K. & Pervizpour, M. 2003. Development of a Model Health Monitoring Guide for Major Bridges. Federal Highway Administration Research and Development.

Envic Oy. Tuoteryhmät. Digitaalinen yhdistelmälahetin. Luettu 26.1.2017.  
<http://envic.fi/wp-content/uploads/2017/01/MULTI-LOG-YHDISTELM%C3%84L%C3%84HETIN.pdf>

Eurokoodien soveltamisohje. Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1. 2014. Liikenneviraston ohjeita 24/2014. Helsinki: Liikennevirasto.

Eurokoodien soveltamisohje. Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. 2014. Liikenneviraston ohjeita 25/2014. Helsinki: Liikennevirasto.

Eurokoodien soveltamisohje. Puurakenteiden suunnittelu – NCCI 5. 2013. Liikenneviraston ohjeita 25/2013. Helsinki: Liikennevirasto.

Gustafsson, A., Pousette, A. & Björngrim, N. 2010. Health monitoring of timber bridges. Skellefteå: SP Technical Research Institute of Sweden

Heinänen, L. 2014. Suomalaisen puusiltarakentamisen mahdollisuudet ja haasteet. Puutuotetekniikka. Aalto-yliopisto. Kemian tekniikan korkeakoulu. Maisterivaiheen opinäytetyö.

Hyvä tietää kestopuusta. Perustietoa puusta. 2010. Helsinki: Puuinfo.

Iivonen, A. 2004. Rakenteiden mekaniikan jatkokurssi. Luentomoniste. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Kukkurainen, K. 2016. Sähköpostiviesti. kari.kukkurainen@straintech.fi

Kyowa. Products. PCD-400A Sensor interface. Luettu 26.1.2017  
<http://www.kyowa-ei.com/eng/product/category/acquisition/pcd-400a/index.html>

Liikenneviraston sillat. 2016. Liikenneviraston tilastoja 5/2016. Helsinki: Liikennevirasto

Liimapuukäsikirja, Osa 1. 2015. Helsinki: Suomen liimapuuyhdistys ry, Puuinfo Oy.

Meluselvitys asemakaavaa varten. 2013. Isokuusen keskusta (kaava 8466), Tampere. Tampere: Ramboll.

Merikallio, T. 2000 Kosteusmittaus. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakennustieto Oy

Perälä, T & Penttilä, W. 2016. Siltamittaus. Tietotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Puuinfo. Puutieto. Puusillat. Luettu 29.12.2016.  
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusillat>



Puuinfo. Puutieto. Puu materiaalina. Kosteusteknisiä ominaisuuksia. Luettu 11.1.2017.  
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

Ranta-Maunus, A & Korttesmaa, M. 2000. Creep of Timber during Eight Years in Natural Environments. Espoo: VTT.

Rechardt, E. 2014. Ennakkoluulot ja asenteet puusiltojen rakentamisen esteenä Suomessa. Teoksessa Laukkanen, M. (toim.) Puheenvuoroja puusta. Helsinki: Puuinfo Oy. 68-69.

RT 21-10978 Puutavara. Sahattu, höylätty ja jatkojalosteet. 2009. RT-kortisto. Rakennustieto Oy

RT 21-11094 Kyllästetty puutavara. 2012. RT-kortisto. Rakennustieto Oy.

Ruotsila, T. 2016. Puusillan syrjälsänkukannen pitkäaikaistaestävyys säärasituksessa. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Rämet, A & Huura, J. 2004. Sillantarkastusohje. Suunnittelu- ja toteutusvaiheen ohjaus. Helsinki: Tiehallinto.

Siltojen kantavuuslaskentaohje. 2015. Liikenneviraston ohjeita 36/2015. Asiantuntijaryhmä. Helsinki: Liikennevirasto.

Siltojen monitorointikäsiKirja. 2016. Liikenneviraston oppaita 2/2016. Liikenneviraston toimeksiannosta työryhmä. Helsinki: Liikennevirasto.

Siltojen monitorointiohje. 2016. Liikenneviraston ohjeita 18/2016. Liikenneviraston toimeksiannosta työryhmä. Helsinki: Liikennevirasto.

Sivenius, J. Lehtori, DI. 2017. Tervassillan liikenteen seuranta. Sähköpostiviesti. [jouni.sivenius@tamk.fi](mailto:jouni.sivenius@tamk.fi). Luettu 15.3.2017.

Strain cages. 4/2011. Kyowa. Japani: Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd.

Tammi, k. 2015. 3D-laserskannaus korjaushankkeen lähtötietojen hankintakeinona. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Tampereen Kaupunki. 4.3.2013. Vuores, Isokuusen keskustan aloituskorttelit ja länsiosa, kaava nro 8466. Asemakaavan selostus.

Tervassillan piirustukset. 2014. Piirustusnumerot 4/16348/1, 4/16348/5, 4/16348/6, 4/16348/7.1, 4/16348/7.2, 4/16348/8.1 ja 4/16348/9.1. Tampere: Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy.

Viljanen, H. 2016. Siltojen puiset lamellikannet. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Vuores. Isokuusi. 2015. Luettu 22.12.2016.  
<http://www.tampere.fi/vuores/asuminenjarakentaminen/isokuusi.html>

Vuores. Tutkimus- ja kehityshankkeet. 2014. Luettu 20.11.2016.  
<http://www.tampere.fi/vuores/alueensuunnittelu/hankkeet.html>

Wood Handbook. 2010. Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory.  
Madison, Wisconsin: United States Department of Agriculture Forest Service.

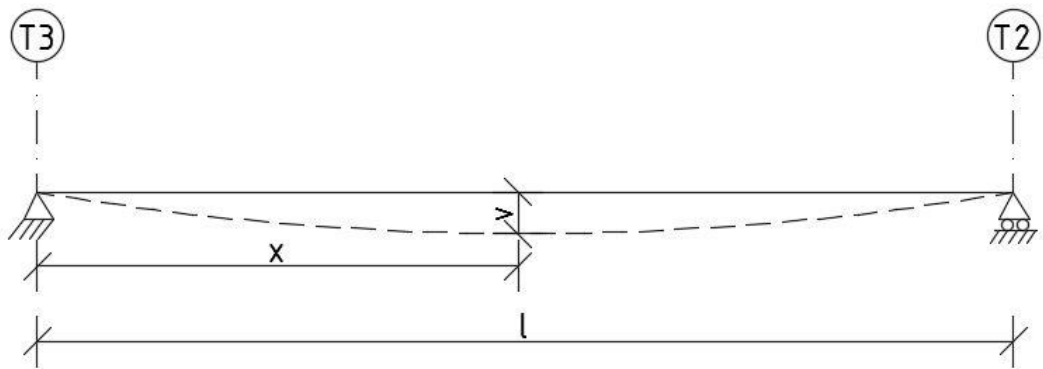
## LIITTEET

### Liite 1. Venymän ja taipuman yhteys

1 (3)

Palkin venymän ja taipuman yhteys saadaan palkin käyristymän ja taipumaviivan differentiaaliyhtälön kautta (Iivonen, A. Rakenteiden mekaniikan jatkokurssi, 2004).

Rakenne yksinkertaistetaan yksiaukkoiseksi palkiksi.



Palkin käyristymä, joka oletetaan vakioksi koko palkin matkalla:

Jännitys etäisyydellä  $y$  neutraaliakselista:

$$\sigma = \frac{M(x) \cdot y}{I}$$

$M(x)$  = Palkkiin vaikuttava momentti

$y$  = Etäisyys neutraaliakselista

$I$  = Palkin jäyhyysmomentti

Venymä etäisyydellä  $y$  neutraaliakselista:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{M(x) \cdot y}{E \cdot I}$$

$$\Rightarrow M(x) = \frac{\varepsilon \cdot E \cdot I}{y}$$

$M(x)$  = Palkkiin vaikuttava momentti

$y$  = Etäisyys neutraaliakselista

$I$  = Palkin jäyhyysmomentti

$E$  = Palkin kimmokerroin

$\varepsilon$  = Liuskaparin suhteellisten venymien keskiarvo

Taipumaviivan differentiaaliyhtälö:

- Sijoitetaan edellä ratkaistu  $M(x)$ :n lauseke

$$v''(x) = \frac{-M(x)}{E \cdot I}$$

$$\Rightarrow v''(x) = \frac{-\varepsilon \cdot E \cdot I}{y \cdot E \cdot I} = \frac{-\varepsilon}{y}$$

$$v'(x) = \frac{-\varepsilon}{y} \cdot x + C_1$$

$$v(x) = \frac{-\varepsilon}{2y} \cdot x^2 + C_1 \cdot x + C_2$$

Tuntemattomat integrointivakiot  $C_1$  ja  $C_2$  saadaan ratkaistua reunaehtojen avulla:

RE1:  $v(x) = 0$ , kun  $x = 0$

RE2:  $v(x) = 0$ , kun  $x = l$

Reunaehdosta 1 saadaan:

$$C_2 = 0$$

Reunaehdosta 2 saadaan:

$$\frac{-\varepsilon}{2a} \cdot l^2 + C_1 \cdot l = 0$$

$$\Rightarrow C_1 = \frac{\varepsilon \cdot l}{2a}$$

Sijoitetaan alkuperäiseen yhtälöön, niin saadaan:

$$v(x) = \frac{-x^2}{2a} \cdot \varepsilon + \frac{x \cdot l}{2a} \cdot \varepsilon$$

$x =$  liuskan etäisyys tuelta  $T3 = 9560 \text{ mm}$

$y =$  liuskan etäisyys palkin neutraaliakselista  $= 502,5 \text{ mm}$

$l =$  palkin pituus  $= 19410 \text{ mm}$

Sijoittamalla arvot lausekkeeseen saadaan taipuman arvoksi:

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{-(9560 \text{ mm})^2}{2 \cdot 502,5 \text{ mm}} \cdot \varepsilon + \frac{9560 \text{ mm} \cdot 19410 \text{ mm}}{2 \cdot 502,5 \text{ mm}} \cdot \varepsilon \\
 &\Rightarrow 93698 \text{ mm} \cdot \varepsilon \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \\
 &= 94 \text{ m} \cdot \varepsilon \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} = (0,094 \cdot \varepsilon) \text{ mm}
 \end{aligned}$$

## Liite 2. Viitteellinen toteutussuunnitelma

1 (2)

<b>Monitoroinnin kohde</b>	<b>Ajan-kohta</b>	<b>Tarvittavat resurssit ja työryhmä</b>	<b>Huomioitavaa</b>
Syrjälankkukannen 3D-laserskannaus	2017-2018	TAMKin mittauspalveluiden käytössä olevalla laitteella ja henkilöstöllä sekä 2 henkilöä liikennejärjestelyihin	Tehtävä mahdollisimman pian
Koekuormitus	2018	Kuormituskalusto, siirtymäanturit ja 4 henkilön työryhmä	Koekuormitus tehdään samoin kuin Heli Viljasen opinnäytetyössä
Liikenteen laskenta	2020	Yksi henkilö	
Siltapaikalle tehtävä tarkastuskäynti	2022	2 henkilöä	
Syrjälankkukannen 3D-laserskannaus	2022	TAMKin mittauspalveluiden käytössä olevalla laitteella ja henkilöstöllä sekä 2 henkilöä liikennejärjestelyihin	
Jatkuva monitorointi	2027	Yksi henkilö	Monitoroinnista tehdään raportti
Siltapaikalle tehtävä tarkastuskäynti	2027	2 henkilöä	
Syrjälankkukannen 3D-laserskannaus	2027	TAMKin mittauspalveluiden käytössä olevalla laitteella ja henkilöstöllä sekä 2 henkilöä liikennejärjestelyihin	Syrjälankkukannen kulumisesta tehdään vertaileva raportti skannauksen jälkeen

<b>Monitoroinnin kohde</b>	<b>Ajan-kohta</b>	<b>Tarvittavat resurssit ja työryhmä</b>	<b>Huomioitavaa</b>
Koekuormitus	2028	Kuormituskalusto, siirtymäanturit ja 4 henkilön työryhmä	Koekuormitus tehdään samoin kuin Heli Viljasen opinnäytetyössä ja koekuormituksista tehdään vertaileva raportti
Siltapaikalle tehtävä tarkastuskäynti	2032	2 henkilöä	
Syrjälankkukannen 3D-laserskannaus	2032	TAMKin mittauspalveluiden käytössä olevalla laitteella ja henkilöstöllä sekä 2 henkilöä liikennejärjestelyihin	
Jatkuva monitorointi	2037	Yksi henkilö	Monitoroinnista tehdään raportti
Siltapaikalle tehtävä tarkastuskäynti	2032	2 henkilöä	
Syrjälankkukannen 3D-laserskannaus	2040	TAMKin mittauspalveluiden käytössä olevalla laitteella ja henkilöstöllä sekä 2 henkilöä liikennejärjestelyihin	Syrjälankkukannen kulumisesta tehdään vertaileva raportti skannauksen jälkeen
Koekuormitus	2040	Kuormituskalusto, siirtymäanturit ja 4 henkilön työryhmä	Koekuormitus tehdään samoin kuin Heli Viljasen opinnäytetyössä

## Advantech UNO-2174G –keskusyksikkö

# UNO-2174G/GL UNO-2184G

Intel® Celeron® Automation Computers  
with 4 x GbE, 2 x Mini PCIe, DVI/DP/HDMI

Intel® Core™ i7 Automation Computer  
with 4 x GbE, 2 x Mini PCIe, DVI/DP/HDMI



## Features

- Onboard Intel Celeron 847E 1.1GHz/807UE 1.0GHz/Core i7-2655LE 2.2GHz/i7-3555LE 2.5GHz processors
- 2 x RS-232 and 2 x RS-232/422/485 ports with automatic flow control
- 4 x 10/100/1000Base-T Ethernet
- DVI-I, DP, HDMI support 2 x independent displays
- Audio with Mic in, Line in, Line out
- 6 x USB ports
- Supports 2 x PCI-104 plug-in card with daughterboard expansion
- Windows® WES 2009, WES 7 ready solution
- External accessible CFast slot
- Onboard system status LED indicators
- Supports wake on LAN and boot from LAN function
- Supports Power eSATA
- Isolation between chassis and power ground
- IP40 ingress protection

## Introduction

The UNO-2184G & 2174G/GL are high-performance Intel 3rd generation Core i7-3555LE/Intel 2nd generation core i7-2655LE/847E/807UE grade controllers that support PCI-104 with daughterboard expansion, 3 x display, 6 x USB, and 2 x Mini PCIe socket. They also feature WLAN, 3G expansion and compatibility with Windows 7. The 4 x Gigabit LANs on the UNO-2184G support teaming function with fault tolerance, link aggregation, and load balance features. The UNO-2184G & 2174G/GL are high end computing platforms designed to support applications with tremendous data volume and 3D content.

## Specifications

### General

- Certification** CE, UL, CCC, FCC, C-Tick, BSMI
- Dimensions (W x D x H)** 255 x 152 x 69 mm (10" x 6.0" x 2.7")
- Enclosure** Aluminum
- Mounting** DIN-rail, Wallmount, VESA
- Power Consumption** UNO-2174G/GL: 30 W/20 W (Typical)  
UNO-2184G: 40 W (Typical)
- Power Requirements** 9 ~ 36 V<sub>DC</sub> (e.g. +24V @ 3A) (Min. 72W), AT/ATX
- Weight** 3.0 kg
- OS Support** Windows XP/V7, WES7, WES-2009, Linux
- System Design** Fanless with no internal cabling (except COM3/COM4)
- Remote Management** Built-in Advantech DiagAnywhere agent on WES2009 / WES7

### System Hardware

- CPU** UNO-2174G: Intel Celeron 847E 1.1GHz  
UNO-2174GL: Intel Celeron 807UE 1.0GHz  
UNO-2184G: Intel Core i7-3555LE 2.5GHz/i7-2655LE 2.2GHz
- Memory** UNO-2174G/GL: 4 GB DDR3 SDRAM built-in  
UNO-2184G: 4 GB/8 GB DDR3 SDRAM built-in
- Indicators** LEDs for Power, battery, LAN (Active, Status) and Serial (Tx, Rx)
- Keyboard/Mouse** 1 x PS/2
- PCI/104 Slot** PCI-104 slot, supports +5 & 3.3V power
- Storage** CF: 1 x CFast slot  
HDD: One built-in 2.5" SATA HDD bracket (Optional 2 x HDD Bracket Kit)
- Display** 1 x DVI-I, 1 x HDMI, 1 x DP (2 x independent displays)
- Audio** Mic in, Line in, Line out
- Watchdog Timer** Programmable 256 levels timer interval, from 1 to 255 sec
- Mini PCIe Expansion** 2 x Mini PCIe slots with 1 x SIM card

### Daughterboard (Additional purchase required)

- Expansion Slot** PCI-104 support (+5 & 3.3V power)

### I/O Interfaces

- Serial Ports** 2 x RS-232, 2 x RS-232/422/485 with DB9 connectors; automatic RS-485 data flow control
- Serial Port Speed** RS-232: 50 ~ 115.2 kbps  
RS-422/485: 50 ~ 115.2 kbps (Max.)
- LAN** 4 x 10/100/1000Base-T RJ-45 ports  
Supports AMT (UNO-2184G only), wake on LAN and built-in boot ROM in flash BIOS
- USB Ports** 6 x USB (only UNO-2184G-D64E supports 2 x USB3.0)

### Environment

- Humidity** 95% @ 40°C (non-condensing)
- Operating Temperature** UNO-2174/2184: -10 ~ 60°C (14 ~ 140°F) @ 5 ~ 85% RH (with air flow)  
UNO-2184GX (TBC): -40 ~ 60°C (-40 ~ 140°F) @ 5 ~ 85% RH (with air flow)  
UNO-2184GL (TBC): -40 ~ 60°C (-40 ~ 140°F)
- Shock Protection** IEC 60068-2-27  
CompactFlash: 50 G @ wall mount, half sine, 11 ms  
HDD: 20 G @ wall mount, half sine, 11 ms
- Vibration Protection** IEC 60068-2-64 (Random 1 Oct./min, 1hr/axis.)  
CompactFlash: 2 Grms @ 5 ~ 500 Hz  
HDD: 1 Grms @ 5 ~ 500 Hz

## Ordering Information

- UNO-2184G-D44E** Intel Core i7-2655LE 2.2 GHz, 4 GB RAM Automation Computer
- UNO-2184G-D45E** Intel Core i7-2655LE 2.2 GHz, 8 GB RAM Automation Computer
- UNO-2184G-D64E** Intel Core i7-3555LE 2.5GHz, 4 GB RAM Automation Computer
- UNO-2174G-C54E** Intel Celeron 847 1.1 GHz, 4 GB RAM Automation Computer
- UNO-2174GL-C44E** Intel Celeron 807UE 1.0 GHz, 4 GB RAM Automation Computer

## Accessories

- UNO-2000G-VMKAE** UNO & FPM integration VESA Mount kit
- 1750006043** Wi-Fi cable 15CM
- 1750002842** Antenna for Wi-Fi
- PCLS-DIAGAW10** Advantech Remote Monitoring & Diagnosis Utility
- UNO-PCM24-AE** 2 x PCI-104 expansion board
- 9656EWMG00E** Half size to full size Mini PCIe bracket
- UNO-2184HD-AE** 2 x HDD Bracket accessory kit for UNO-2184G/2174G



## PCD-400A –liitäntäyksikkö

3  
-51

DATA RECORDERS / ANALYZERS

Sensor  
to recommend

Strain Gages

Encapsulated Strain Gages

Load Cells

Pressure Transducers

Acceleration Transducers

Torque Transducers

Displacement Transducers

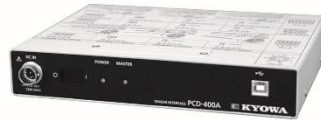
Voltage

## PCD-400A/430A

## Sensor Interfaces



PCD-400A



PCD-430A

NEW



## The Carrier Wave Type Measuring Instrument Allows for Compactness and Low Prices

- Easy sensor connection using various types of input adapter
- Connects to PC using USB interface
- Measurement using 1 unit with 4 channels, up to a maximum of 4 units with 16 channels possible
- 4 unit simultaneous sampling using the connection connector set ST-1A (optional accessory)
- Simultaneous connection means simultaneous measurement of strain possible
- Dynamic data acquisition software (DCS-100A) standard accessory supporting Windows Vista, and Windows 7, Windows 8/8.1 (Japanese/English, 32/64 bit)
- Input adapter
  - Input adapter for strain gage transducer UI-10A (TEDS compatible)
  - Input adapter for strain gage UI-11A (TEDS compatible)
  - Input adapter for strain gage with operating lever UI-15A
  - One-touch lock type input adapter for strain gage UI-16A
  - One-touch type input adapter UI-55A (CE compatible)
  - Voltage input adapter UI-30A (for PCD-430A)
- Compact, lightweight
- Analysis of data using the analysis software (optional accessory) (DAS-200A) is possible.

\*For details of data analysis software (DAS-200A), refer to P.4-9.

\*For details of TEDS, refer to P.9-16.

\*If 64 bit OS, operate in WOW64 (Windows 32-bit On Windows 64-bit) environment.

Connect the sensor interface to a PC via USB port.  
The PC will be a measuring instrument.  
Up to 4 units can be stacked for measurement in 16 channels.

## PCD-400A specifications

Applicable sensor	Strain gage and strain gage transducer
Number of input channels	4
Synchronous operation	A maximum of 4 units for 16 channels
Applicable gage resistance	Quarter bridge 2-wire system, 3-wire system: 120Ω Half bridge system, Full bridge system: 120 to 1000Ω
Input Connector	D-sub 37-pin connector
Bridge excitation	AC 2Vrms
Gage factor	Fixed at 2.00
Balance adjustment range	Resistance: Within $\pm 2\%$ ( $\pm 10000$ m/m) Within 5000 pF
Balance adjustment type	Resistance: Pure electronic auto balance system Capacitance: CST method (automatic tracking)
Nonlinearity	Within $\pm 0.1\%$ FS
Range	200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, and 20000 m/m – 7 steps Accuracy: Within $\pm 0.5\%$ FS
Frequency response range	DC to 200 Hz, within deviation $\pm 10\%$
Sampling frequency	Maximum 10 kHz (Simultaneous 4-unit sampling for 16 channels at 10 kHz)
Low-pass filter	2nd Butterworth Cutoff frequency: 10, 30, 100 Hz, and flat – 4 steps Amplitude ratio at cutoff point: $-3\text{dB} \pm 1\text{dB}$ Attenuation: $-12 \pm 1\text{dB/oct.}$
AD convert	24-bit
Setting value retention	The range and balance adjustment value etc. are written to nonvolatile memory.
TEDS function	Reads the sensor TEDS information (Input adaptor: UI-10A and UI-11A only) Channel name writing (If the manufacturer's ID is Kyowa)
Interface	USB2.0 (Conforms to High-Speed USB standards. Can also be operated in a USB3.0 port.)
Stability	Temperature Zero point: Within $\pm 0.2$ m/m/°C Sensitivity: Within $\pm 0.05\%$ /°C Time Zero point: Within $\pm 1$ m/m/8h Sensitivity: Within $\pm 0.3\%$ /8h
Withstand voltage	250 VAC for 1 minute between input and chassis,
Operating temperature humidity range	0 to 40°C 20 to 85% RH (Noncondensing)
Vibration resistance	$\pm 29.42\text{m/s}^2$ (3G) 5 to 200 Hz (12 cycles for each axis, 10 minutes/cycle)
Power supply	11 to 16 VDC Connector type: RM12BRD-4PH (Hirose)
Consumption current	0.7A or less (12 VDC)
External dimensions	210 (W) x 35 (H) x 157.5 (D) mm (excluding protrusions)
Weight	Approx. 700 g
EMC directive	EN61326-1 (Class A)
RoHS directive	EN50581

Sensor  
to recommend

Strain Gages



Encapsulated Strain Gages



Load Cells



Pressure Transducers



Acceleration Transducers



Torque Transducers



Displacement Transducers



Voltage



## Standard Accessories

USB cable N-38 (1 m)  
Ground wire P-72 (5 m)  
(Dynamic data acquisition software DCS-100A)

## Optional Accessories

AC adaptor UIA345-12  
USB cable N-39 (2 m)  
DC power cable P-76 (DC 11 to 16V, 2 m)  
Connection cable N-97 (10 cm)  
Stacking connector set (ST-1A)  
Stack fixture (CN-20)  
Input adaptors (At least one is required)  
Input adapter for strain gage transducer UI-10A (TEDS supported)  
Input adapter for strain gage UI-11A (TEDS supported)  
Input adapter for strain gage with operating lever UI-15A  
One-touch lock type input adapter for strain gage UI-16A  
One-touch type input adapter UI-55A

## PCD-430A specifications

<b>Comprehensive specification</b>
<b>Number of Channel:</b> 4
<b>Synchronous Measurement:</b> Up to 4 units by 16 channels
<b>Input Connector:</b> 37-pin D-sub connector
<b>Sampling Frequency:</b> Maximum: 10 kHz (simultaneous sampling of 4 units 16 channels)
<b>A/D Converter:</b> 24 bits
<b>Holding Setting Condition:</b> Range, Balance adjustment are stored in internal nonvolatile memory.
<b>TEDS Function:</b> Loading function from the TEDS sensor CH name writing function (For the manufacture ID: KYOWA only)
<b>Interface:</b> USB2.0 (Compliant to the High-Speed, USB3.0 port supported)
<b>Operating Temperature &amp; Humidity Range:</b> 0 to 40°C, 20 to 85% RH (Noncondensing)
<b>Vibration Proof:</b> ±29.42m/s <sup>2</sup> (3G), 5 to 200 Hz (12 cycles for each axis, 10 minutes/cycle)
<b>Power Supply:</b> 11 to 16 VDC Connector: RM12BRD-4PH (Hirose)
<b>Consumption Current:</b> 0.9 A or less (12 VDC)
<b>Dimensions:</b> 210(W) × 35(H) × 157.5(D) mm (not including Protrusions)
<b>Weight:</b> Approximately 750 g
<b>EMC directive :</b> EN61326-1 (Class A)
<b>RoHS directive :</b> EN50581

## Standard Accessories

USB cable N-38 (1 m)  
Ground wire P-72 (5 m)  
(Dynamic data acquisition software DCS-100A)

## Optional Accessories

AC adaptor UIA345-12 (For 1 to 4)  
USB cable N-39 (2 m)  
DC power cable P-76 (11 to 16 VDC, 2 m)  
Connection cable N-97 (10 cm)  
Stacking connector set (ST-1A)  
Stack fixture (CN-20)  
Input adaptors (At least one is required)  
Input adapter for strain gage transducer UI-10A (TEDS compatible)  
Input adapter for strain gage UI-11A (TEDS compatible)  
Input adapter for strain gage with operating lever UI-15A  
One-touch lock type input adapter for strain gage UI-16A  
One-touch type input adapter UI-55A  
Voltage input adapter UI-30A

## Strain Measuring Mode

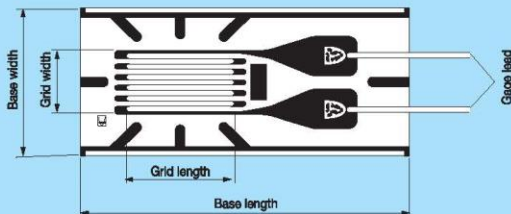
<b>Measuring Target:</b> Strain gage, Strain Gage Transducer
<b>Input Form:</b> Balanced Differential Input
<b>Applicable Gage Resistance:</b> Quarter bridge system (2-wire and 3-wire): 120 ohm Half bridge system : 120 to 1000 ohm Full bridge system : 120 to 1000 ohm
<b>Bridge Excitation:</b> 2VAC <sub>max</sub>
<b>Gage Factor:</b> 2.00 Fixed
<b>Balance Adjustment Range:</b> Resistance: Within ±2% (±10000 μm/m) Capacity: Within 5000 pF
<b>Balance Adjustment method:</b> Resistance: Auto balance Capacity: CST method (automatic tracking)
<b>Nonlinearity:</b> Within ±0.1% FS
<b>Range:</b> 200, 500, 1 k, 2 k, 5 k, 10 k, and 20 k μm/m - 7 steps Accuracy: Within ±0.5% FS
<b>Frequency Response range:</b> DC to 200 Hz, deviation within ±10%
<b>Low Pass Filter:</b> 2nd Order Butterworth Cutoff frequency: 10, 30, 100 Hz, and FLAT - 4 steps Amplitude ratio at cutoff point: -3 ±1 dB Attenuation characteristics: -12 ±1 dB/oct
<b>Stability:</b> Temperature Zero point: ±0.2 m/m/°C Sensitivity: ±0.05%/°C Time Zero point: ±0.5 μm/m/8h Sensitivity: ±0.15%/8h
<b>Withstand Voltage:</b> Input-case, 250 VAC, 1 min.

## Voltage Measuring Mode

<b>Measuring Target:</b> Voltage
<b>Input Form:</b> Unbalanced Input
<b>Range:</b> 1, 2, 5, 10, 20, and 50 V - 6steps Accuracy: Within ±0.2% FS
<b>Frequency Response range:</b> DC to 1 kHz, Deviation Within -3 to +1 dB
<b>High Pass Filter:</b> 2 steps of 0.2 Hz, OFF
<b>Low Pass Filter:</b> 2nd Order Butterworth Cutoff frequency: 10, 30, 100, 300 Hz and FLAT - 5steps Amplitude ratio at cutoff point: -3 ±1 dB Attenuation: -12 ±1 dB/oct
<b>Stability:</b> Temperature Zero point: ±0.008%FS/°C Sensitivity: ±0.02%/°C Time Zero point: ±0.03%FS/8h Sensitivity: ±0.1%/8h

## KFG –venymäliuskat

## Gages for General Stress Measurement

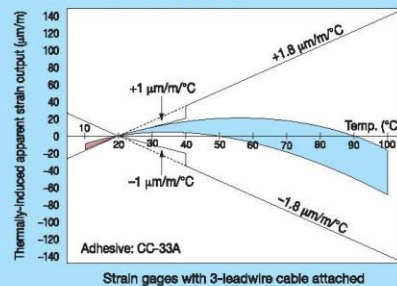
**KFG**

- Gage Factor Approx. 2.1
- Applicable Linear Expansion Coefficients 5, 11, 16, 23, 27 ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
- Self-temperature-compensation Range 10 to  $100^{\circ}\text{C}$

## Applicable Adhesives and Operating Temperature Ranges

CC-33A: $-196$ to $120^{\circ}\text{C}$	EP-34B: $-55$ to $150^{\circ}\text{C}$
CC-35: $-30$ to $120^{\circ}\text{C}$	PC-600: $-196$ to $150^{\circ}\text{C}$
CC-36: $-30$ to $120^{\circ}\text{C}$	

## Typical characteristic curve of thermally-induced apparent strain with KFG gage



## General-purpose Foil Strain Gages

The KFG gages use polyimide resin for the base approximately  $13\mu\text{m}$  thick, ensuring excellent flexibility. Besides indoor measurement, the outstanding moisture resistance lets them effectively perform outdoor measurement. Unless directly exposed to waterdrops, no coating treatment is required.

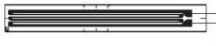
- Various lengths and patterns are available to cope with multiple applications.
- Excellent moisture resistance.
- The thin gage base provides less resiliency, and thus ensures excellent workability and easy bonding to curved surfaces.
- Compensated temperature range is as wide as  $10$  to  $100^{\circ}\text{C}$  and thermal effect in a range of  $20$  to  $40^{\circ}\text{C}$  is as small as  $\pm 1 \mu\text{m}/\text{m}/^{\circ}\text{C}$ .
- Strain limit at room temperatures is approximately  $5\%$  and fatigue life is  $1.2 \times 10^7$  times (uniaxial gages), making them suitable for material tests.
- For gages with a 2-wire cable, the resistance and the gage factor are as stated including the leadwires.
- For gages with a 3-wire cable, the gage factor is as stated including the leadwires but the stated resistance does not include the effect of the leadwires.

## Types, lengths and codes of leadwire cables pre-attached to KFG gages

Type	2 polyester-coated copper wires	3 polyester-coated copper wires	Vinyl-coated flat 2-wire cable		Vinyl-coated flat 3-wire cable		Middle-temperature 2-wire cable	Middle-temperature 3-wire cable
Length	C1, C2, C3, C15, C16, D1, D3, D4, D8, D16, D17, D28, D29, D30, D31	C1, C2, C3, C15, C16, D1, D2, D4, D16, D17, D29, D30, D31	C1, C2, C3, C15, C16, D9, D19, D39	D1, D4, D16, D17, D28, D29, D30	C1, C2, C3, C15, C16, D2, D8, D19, D31, D39	D1, D4, D16, D17, D28, D29, D30	C1, C2, C3, C15, C16, D1, D4, D8, D16, D17, D19, D28, D29, D30, D39	C1, C2, C3, C15, C16, D1, D2, D4, D8, D16, D17, D19, D28, D29, D30, D31, D39
2 cm	N2C2	N2C3						
3	N3C2	N3C3						
4	N4C2	N4C3						
5	N5C2	N5C3						
10	N10C2	N10C3						
15	N15C2	N15C3	L15C2R	L15C2S	L15C3R	L15C3S	R15C2	R15C3
30	N30C2	N30C3	L30C2R	L30C2S	L30C3R	L30C3S	R30C2	R30C3
50	N50C2	N50C3	L50C2R	L50C2S	L50C3R	L50C3S	R50C2	R50C3
1 m	N1M2	N1M3	L1M2R	L1M2S	L1M3R	L1M3S	R1M2	R1M3
2			L2M2R	L2M2S	L2M3R	L2M3S	R2M2	R2M3
3			L3M2R	L3M2S	L3M3R	L3M3S	R3M2	R3M3
4			L4M2R	L4M2S	L4M3R	L4M3S	R4M2	R4M3
5			L5M2R	L5M2S	L5M3R	L5M3S	R5M2	R5M3
6			L6M2R	L6M2S	L6M3R	L6M3S	R6M2	R6M3
8			L8M2R	L8M2S	L8M3R	L8M3S	R8M2	R8M3
10			L10M2R	L10M2S	L10M3R	L10M3S	R10M2	R10M3
15			L15M2R	L15M2S	L15M3R	L15M3S	R15M2	R15M3
20			L20M2R	L20M2S	L20M3R	L20M3S	R20M2	R20M3
30 m			L30M2R	L30M2S	L30M3R	L30M3S	R30M2	R30M3
Opp. temp. range	$-196$ to $150^{\circ}\text{C}$		$-10$ to $80^{\circ}\text{C}$		$-100$ to $150^{\circ}\text{C}$			
Remarks	Twisted for 50 cm and 1 m long (with some exception)		L-8; L-9 for 6 m or longer		L-7; L-10 for 6 m or longer		L-11	L-12



KFG Gages      • Uniaxial



**KFG-30-120-C1-11**

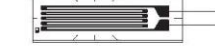
16  
23  
27

**Uniaxial**

Base Size	37 x 5.2 mm
Gage Length	30 mm
Resistance	120 Ω
Pieces per Pack	10

Leadwire Cable Code

L1M3R  
L3M3R  
L5M3R  
L1M2R  
L3M2R  
L5M2R  
R1M3  
R3M3  
R5M3  
R1M2  
R3M2  
R5M2  
N30C3  
N50C3  
N1M3  
N30C2  
N50C2  
N1M2



**KFG-20-120-C1-11**


16  
23  
27

**Uniaxial**

Base Size	28 x 8 mm
Gage Length	20 mm
Resistance	120 Ω
Pieces per Pack	10

Leadwire Cable Code

L1M3R  
L3M3R  
L5M3R  
L1M2R  
L3M2R  
L5M2R  
R1M3  
R3M3  
R5M3  
R1M2  
R3M2  
R5M2  
N30C3  
N50C3  
N1M3  
N30C2  
N50C2  
N1M2



**KFG-10-120-C1-11**


16  
23  
27

**Uniaxial**

Base Size	16 x 5.2 mm
Gage Length	10 mm
Resistance	120 Ω
Pieces per Pack	10

Leadwire Cable Code

L1M3R  
L3M3R  
L5M3R  
L1M2R  
L3M2R  
L5M2R  
R1M3  
R3M3  
R5M3  
R1M2  
R3M2  
R5M2  
N30C3  
N50C3  
N1M3  
N30C2  
N50C2  
N1M2



**KFG-6-120-C1-11**

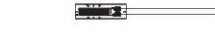
16  
23  
27

**Uniaxial**

Base Size	10 x 3.4 mm
Gage Length	6 mm
Resistance	120 Ω
Pieces per Pack	10

Leadwire Cable Code

L1M3R  
L3M3R  
L5M3R  
L1M2R  
L3M2R  
L5M2R  
R1M3  
R3M3  
R5M3  
R1M2  
R3M2  
R5M2  
N30C3  
N50C3  
N1M3  
N30C2  
N50C2  
N1M2



**KFG-5-120-C1-11**


16  
23  
27  
5

**Uniaxial**

Base Size	9.4 x 2.8 mm
Gage Length	5 mm
Resistance	120 Ω
Pieces per Pack	10

Leadwire Cable Code

L1M3R  
L3M3R  
L5M3R  
L1M2R  
L3M2R  
L5M2R  
R1M3  
R3M3  
R5M3  
R1M2  
R3M2  
R5M2  
N30C3  
N50C3  
N1M3  
N30C2  
N50C2  
N1M2



**KFG-4N-120-C1-11**

16  
23  
27

**Uniaxial**

Base Size	8 x 1.4 mm
Gage Length	4 mm
Resistance	120 Ω
Pieces per Pack	10

Leadwire Cable Code

L1M3R  
L3M3R  
L5M3R  
L1M2R  
L3M2R  
L5M2R  
R1M3  
R3M3  
R5M3  
R1M2  
R3M2  
R5M2  
N30C2  
N50C2  
N1M2

When ordering, specify the model number as follows:

**KFG-□-120-C1-□**      Leadwire Cable Code

e.g.  
**KFG-30-120-C1-11 L1M3R**

Leadwire Cable - Type and Shape	Orig. Temp. Range	Leadwire Length	Leadwire Cable Code
Vinyl-coated flat 3-wire cable L-7 (L-10 for 6 m or longer)	-10 to 80°C	1 m	L1M3R
		3 m	L3M3R
		5 m	L5M3R
Vinyl-coated flat 2-wire cable L-6 (L-9 for 6 m or longer)	-10 to 80°C	1 m	L1M2R
		3 m	L3M2R
		5 m	L5M2R
Middle-temperature 3-wire cable L-12	-100 to 150°C	1 m	R1M3
		3 m	R3M3
		5 m	R5M3
Middle-temperature 2-wire cable L-11	-100 to 150°C	1 m	R1M2
		3 m	R3M2
		5 m	R5M2
3 polyester-coated copper wires	-196 to 150°C	30 cm	N30C3
		50 cm	N50C3
		1 m	N1M3
2 polyester-coated copper wires	-196 to 150°C	30 cm	N30C2
		50 cm	N50C2
		1 m	N1M2
Silver-clad copper wires	-196 to 150°C	25 mm	

## DAT2 –Lähetin

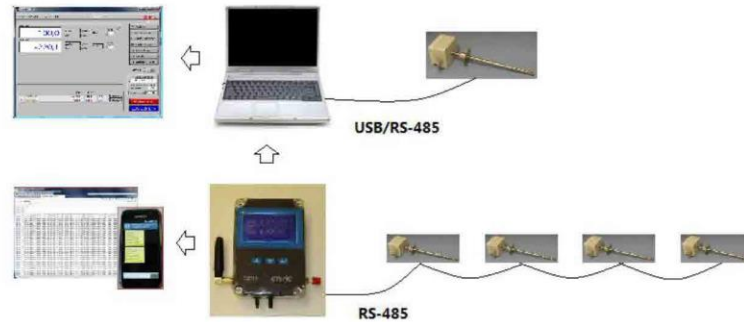


### LANGATTOMAT MITTAUSLÄHETTIMET LÄMPÖTILAN JA KOSTEUDEN MITTAUKSEEN DAT-2/TA DIGITAALILÄHETTIMILLÄ



DAT-2/TA digitaali­lähetin on tarkoitettu erityisesti teollisuus ilmastoinnin ja puhdastilaratkaisujen ilmanvirtausnopeuden mittauksiin ja mittaustiedon keruuseen ja taltiointiin. Virtausnopeuden lisäksi laite mittaa ilman lämpötilaa. Virtausnopeusanturi on rakennettu  $\Phi$  8 mm/pituus 300 putkeen, joka on liitetty elektroniikkaosaan 2 m kaapelilla. Hyvien dataloggaus ominaisuuksien ja laajan muistin ansiosta

DAT-2/TA lähetintä/dataloggeria voidaan käyttää yksittäisenä mittalaitteena ja liittää se suoraan tietokoneen USB-porttiin tai mittausvalvontajärjestelmän, kuten GDU-12S:ään osana liitettynä RS-485 väylään tai langattomana 868 MHz verkkoon. DAT-2/TA:n käyttöjännite on 24 VDC.



#### TEKNISEET TIEDOT

Sisäänmenot	Tyyppi
Pt-100RTD lämpötila	3-johdin -30...+80
Ilmanvirtausnopeus	Envic -virtausnopeusanturi 0-20 m/s
Tiedonkeruu	RS-485, USB, langaton ZB
A/D muunnos	16 bittinen
Mittausnopeus	20 mittausta / 2 ch / s
Mittausmuisti	30 000 mittausta / kanava
Ympäristölämpötila	-25...+50
Syöttöjännite	24 VDC
Rakenne	Muovikotelo 50 x 65 x 35 mm

- ILMANVIRTAUSNOPEUS- JA ILMANMÄÄRÄ-MITTAUKSET RAKENNUSAUTOMAATIOSSA
- ILMANMÄÄRÄMITTAUKSET KUIVAUS-PROSESSEISSA
- ILMANMÄÄRÄMITTAUKSET LÄMMITYSJÄRJESTELMISSÄ
- ILMANVIRTAUSNOPEUSMITTAUKSET VETOKAAPPI- JA PUHDASTILASOVELLUTUKSISSA

## GDU-12S/GSM

envic

Puh. (02) 4808 2400  
info@envic.fi

## GDU-12S/GSM

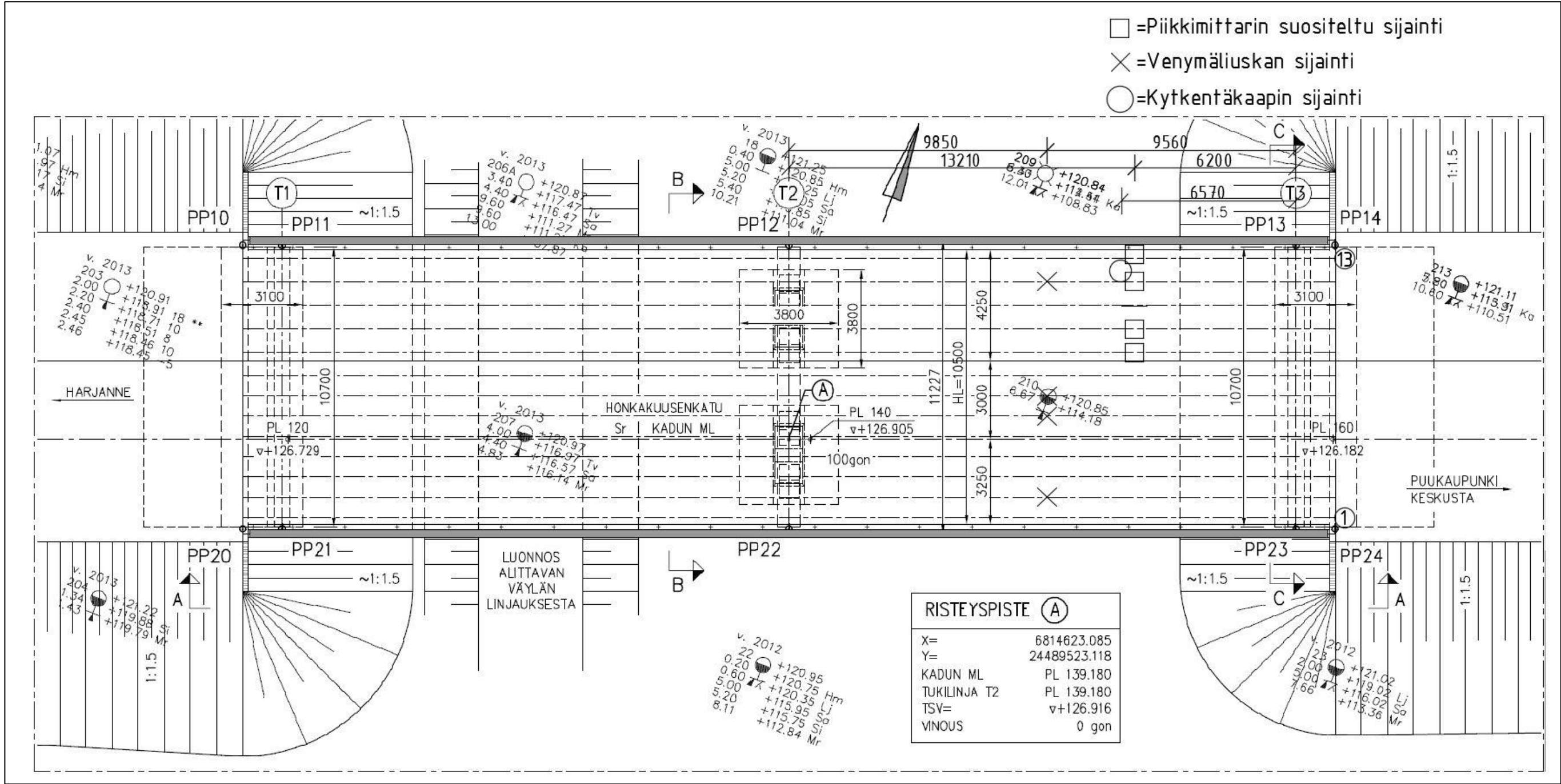
## HAJAUTETTU DATALOGGERI YMPÄRISTÖOLOSUHTEIDEN VALVONTAAN



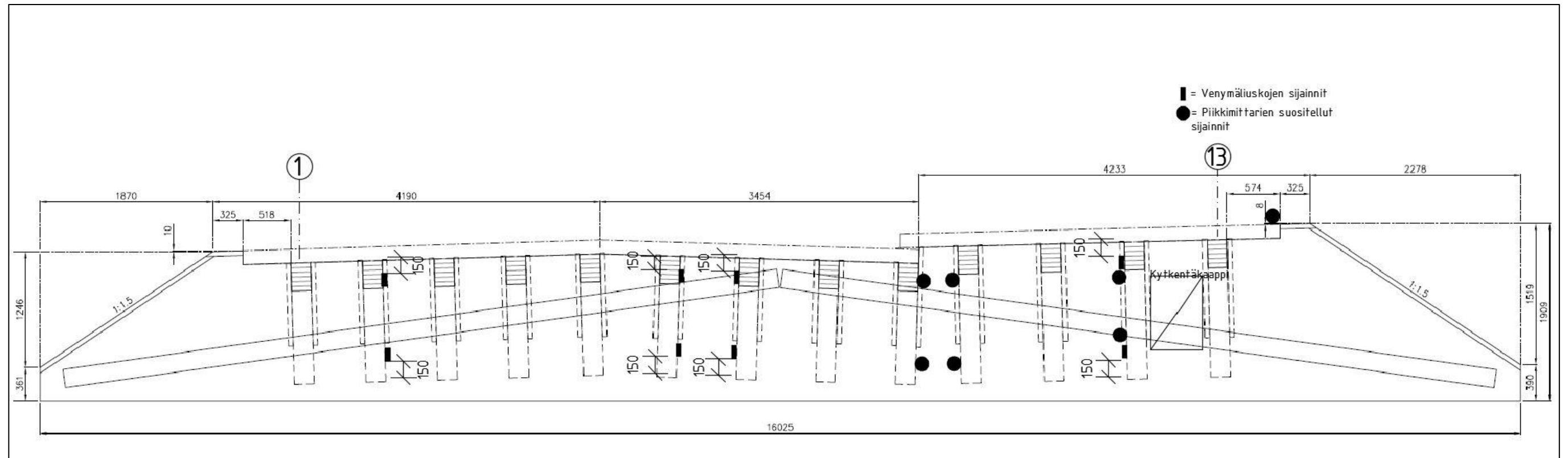
- LÄMPÖTILAN JA KOSTEUDEN YM. SUUREIDEN MITTAUKSEEN
- ÄLYKKÄÄT ANTURIT
- GRAAFINEN NÄYTTÖ
- LAAJA TALLENNUSMUISTI, 300 000 MITTAUSTULOSTA
- REAALIAIKAKELLO PATERIVARMENNUKSELLA
- 2 ASETELTAVAA HÄLYTYSRAJAA/KANAVA
- INTEGROITU GSM/GPRS KOMMUNIKOINTI
- HÄLYTYKSET TEKSTIVIESTINÄ HALUTTUUN KÄNNYKKÄÄN
- SATUNNAINEN MITTAUSTULOSKYSELY KÄNNYKÄLLÄ
- AUTOMAATTINEN MITTAUSTULOSRAPORTOINTI HALUTTUUN SÄHKÖPOSTIOSOITTEESEEN
- USB – LIITÄNTÄ TIETOKONEELLE
- MAKS. 30 MITTAUSLÄHETINTÄ/ANTURIA
- SYÖTTÖJÄNNITE 24VDC DATALOGGERILLE JA ANTUREILLE



Mitta-anturien sijainnit pohjakuvassa

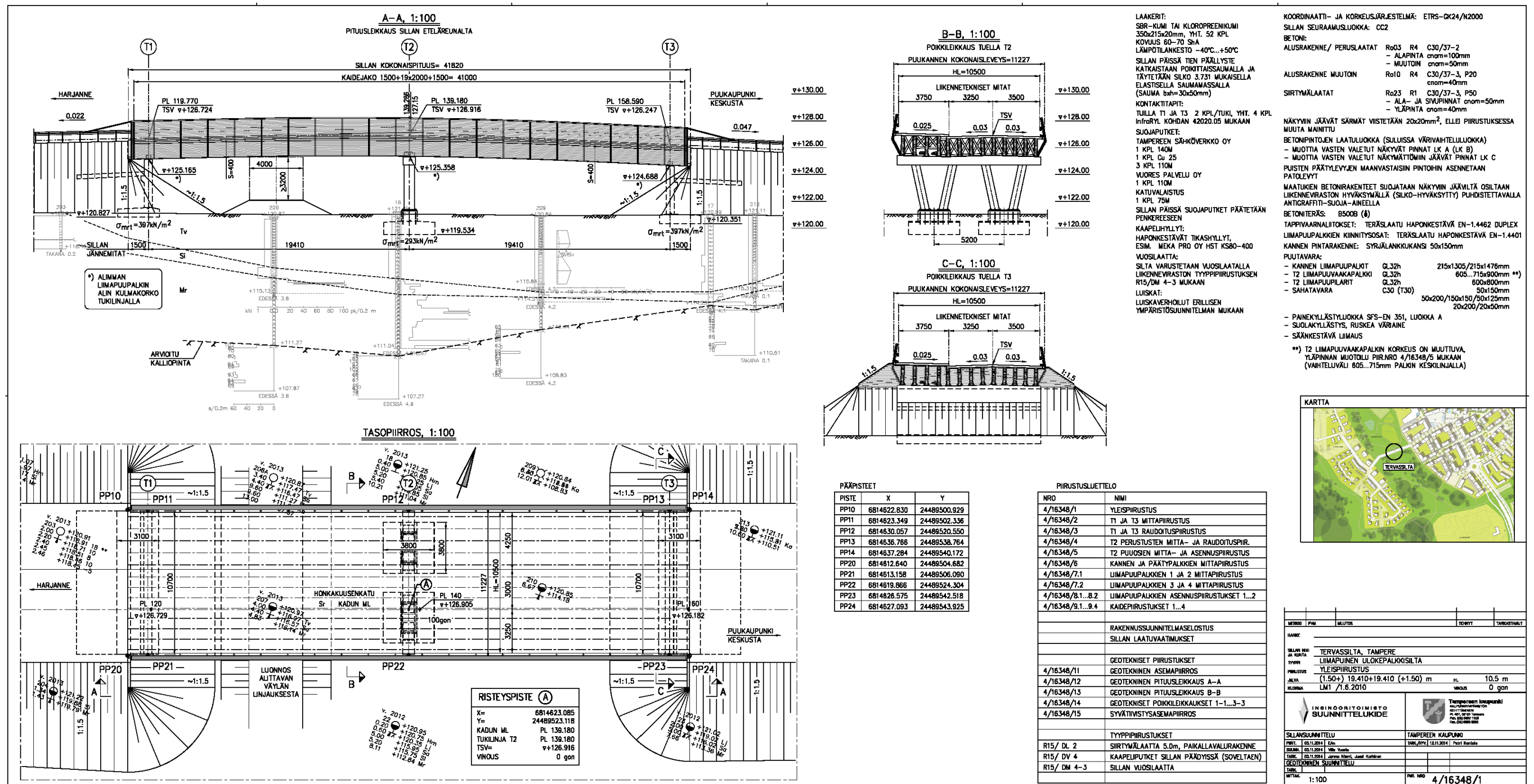


### Mitta-anturien sijainnit poikkileikkauksessa





# Tervassillan yleispiirustus 4/16348/1



[illegible]

**KIINNITYSOSA 1 TUILLA T1 JA T3, 1:50**

**KIINNITYSOSAT 2-6 TUELLA T2, 1:50**

**ESIPORATTAVAT REIÄT TUELLA T2, 1:50**

**LIIMAPUUPALKKIN PITUUSSUUNNASSA**

**LIIMAPUUPALKKIN POIKKISUUNNASSA**

**VIKOTUENNAKAT PALKKIEN VÄLISÄ, 1:200**

**KIINNITYSPERIAATE TUILLA T1 JA T3, 1:5**

**KIINNITYSPERIAATE TUELLA T2, 1:5**

**PERIAATE/ KIINNITYSOSA 2**

**PERIAATE/ KIINNITYSOSA 3**

**PERIAATE/ KIINNITYSOSA 4**

**PERIAATE/ KIINNITYSOSA 5**

**PERIAATE/ KIINNITYSOSA 6**